



## **TUGAS AKHIR**

### **IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING *SLEEP APNEA* BERBASIS IOT UNTUK APLIKASI KESEHATAN**

**13322031 LUKAS HIROMY SIMATUPANG  
13322038 PIDEL SELATER SITORUS  
13322060 SINTA DAME SINAGA**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNOLOGI KOMPUTER  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI DEL  
2025**



## **TUGAS AKHIR**

### **IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING *SLEEP APNEA* BERBASIS IOT UNTUK APLIKASI KESEHATAN**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli  
Madya Teknik (A.Md.T)**

**13322031 LUKAS HIROMY SIMATUPANG  
13322038 PIDEL SELATER SITORUS  
13322060 SINTA DAME SINAGA**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNOLOGI KOMPUTER  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI DEL  
2025**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas akhir ini adalah hasil karya penulis sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah penulis nyatakan dengan benar.**

1. Nama : Lukas Hiromy Simatupang

NIM : 13322031

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Juli 2025

2. Nama : Pidel Selater Sitorus

NIM : 13322038

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Juli 2025

3. Nama : Sinta Dame Sinaga

NIM : 13322060

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Juli 2025

## **HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

1. Nama : Lukas Hiromy Simatupang  
NIM : 13322031
  2. Nama : Pidel Selater Sitorus  
NIM : 13322038
  3. Nama : Sinta Dame Sinaga  
NIM : 13322060
- Program Studi : Diploma III Teknologi Komputer  
Judul Tugas Akhir : Implementasi Sistem Monitoring *Sleep Apnea* Berbasis IoT Untuk Aplikasi Kesehatan

**Telah berhasil dipertanggungjawabkan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T) pada program studi Diploma III Teknologi Komputer, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Del.**

## **DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Frengki Simatupang, S.Tr. Kom., M.T. ( )

Penguji 1 : Istan Pratomo Manalu, S.Si., M.Sc. ( )

Penguji 2 : Marojahah MT Sigiro, ST., M.Sc. ( )

Ditetapkan di : Laguboti  
Tanggal : 30 Juli 2025

## **PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

Kami yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Institut Teknologi Del:

1. Nama : Lukas Hiromy Simatupang  
NIM : 13322031
  2. Nama : Pidel Selater Sitorus  
NIM : 13322038
  3. Nama : Sinta Dame Sinaga  
NIM : 13322060
- Program Studi : Diploma III Teknologi Komputer  
Fakultas : Fakultas Vokasi  
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi Del **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif** atas karya ilmiah yang berjudul: "**Implementasi Sistem Monitoring Sleep Apnea Berbasis IoT Untuk Aplikasi Kesehatan**" beserta seluruh perangkat yang menyertainya. Dengan Hak Non Eksklusif ini, Institut Teknologi Del berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengubah format, serta mempublikasikan dalam bentuk pangkalan data apa pun selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Laguboti, 30 Juli 2025

Yang menyatakan

Lukas Hiromy Simatupang

Pidel Selater Sitorus

Sinta Dame Sinaga

## ABSTRAK

Nama	:	1. Lukas Hiromy Simatupang 2. Pidel Selater Sitorus 3. Sinta Dame Sinaga
Program Studi	:	Diploma III Teknologi Komputer
Judul	:	Implementasi Sistem Monitoring <i>Sleep Apnea</i> Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan

*Sleep apnea* merupakan salah satu gangguan tidur yang ditandai dengan berhentinya napas secara berulang saat tidur, yang jika tidak terdeteksi dapat menyebabkan komplikasi serius seperti hipertensi, stroke, dan gangguan jantung. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring *sleep apnea* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mendeteksi empat parameter utama PSG, yaitu gelombang otak (EEG), pernapasan, detak jantung, dan kadar oksigen dalam darah, secara real-time serta memberikan informasi pendukung bagi tenaga medis. Sistem ini dirancang menggunakan Raspberry Pi sebagai pengendali utama yang terhubung dengan beberapa sensor, antara lain sensor MAX30102 untuk mendeteksi detak jantung dan kadar oksigen, sensor Piezoelectric untuk mendeteksi laju pernapasan, serta sensor TGAM EEG untuk memantau aktivitas gelombang otak. Seluruh data dikirim melalui protokol MQTT, diproses melalui *platform* Node-RED, dan disimpan dalam database sebelum ditampilkan dalam *dashboard* web interaktif. Sistem ini juga dilengkapi dengan perhitungan indeks AHI (*Apnea Hypopnea Index*) untuk mengklasifikasikan tingkat keparahan gangguan tidur berdasarkan parameter fisiologis yang terukur. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data sensor secara akurat dan konsisten, serta mendukung proses pemantauan kondisi pasien oleh dokter atau tenaga kesehatan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi awal yang efektif untuk membantu proses deteksi dini *sleep apnea* dan meningkatkan kualitas layanan kesehatan berbasis teknologi.

**Kata Kunci:** *Internet of Things, Sleep Apnea, Sistem Monitoring, AHI,*

Raspberry Pi, Protokol MQTT.

## ABSTRACT

Name	:	1. Lukas Hiromy Simatupang 2. Pidel Selater Sitorus 3. Sinta Dame Sinaga
Study Program	:	Associate Degree in Computer Technology
Title	:	Implementasi Sistem Monitoring <i>Sleep Apnea</i> Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan

Sleep apnea is a sleep disorder characterized by repeated cessation of breathing during sleep, which, if left undetected, can lead to serious complications such as hypertension, stroke, and heart disease. This research aims to develop an Internet of Things (IoT)-based sleep apnea monitoring system capable of detecting four key PSG parameters, namely brain waves (EEG), respiration, heart rate, and blood oxygen levels, in real-time and providing supporting information for medical personnel. This system is designed using a Raspberry Pi as the main controller connected to several sensors, including a MAX30102 sensor to detect heart rate and oxygen levels, a Piezoelectric sensor to detect respiratory rate, and a TGAM EEG sensor to monitor brain wave activity. All data is sent via the MQTT protocol, processed through the Node-RED platform, and stored in a database before being displayed on an interactive web dashboard. This system is also equipped with an AHI (Apnea Hypopnea Index) index calculation to classify the severity of sleep disorders based on measured physiological parameters. The implementation results show that the system is able to display sensor data accurately and consistently, and supports the process of monitoring patient conditions by doctors or healthcare professionals. This system is expected to be an effective initial solution to assist the early detection of sleep apnea and improve the quality of technology-based healthcare services.

**Keywords:** Internet of Things, Sleep Apnea, Monitoring System, AHI, Raspberry Pi, MQTT protocol.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan Karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini yang berjudul "Implementasi Sistem Monitoring *Sleep Apnea* Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan". Dokumen ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan Program Pendidikan Diploma III pada Program Studi Vokasi Jurusan Teknologi Komputer Institut Teknologi Del. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak memperoleh bimbingan dan masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Frengki Simatupang, S.Tr., M.T. sebagai dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir Kelompok 7.
2. Bapak Iotas Pratomo Manalu, S.Si., Sc. dan Bapak Marojahah MT Sigiro, ST., M.Sc sebagai dosen pengaji, yang memberikan kritik dan saran untuk meningkatkan keberhasilan pengerjaan Tugas Akhir Kelompok 7.
3. Orang tua dan Keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, materi dan moral selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
4. Teman kelompok 7 Tugas Akhir atas kerja keras, kerja sama, dan semangat tim yang begitu hebat dalam menyelesaikan proyek ini. Begitu juga kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Laguboti, 30 Juli 2025

Penulis 1

Penulis 2

Penulis 3

Lukas H Simatupang      Pidel Selater Sitorus      Sinta Dame Sinaga

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Tujuan .....	4
1.3    Rumusan Masalah .....	4
1.4    Batasan Penelitian .....	5
1.5    Hasil yang Diharapkan .....	5
1.6    Sistematika Penyajian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1    Landasan Teori.....	7
2.1.1    Sistem Monitoring.....	7
2.1.2    Internet of Things.....	8
2.1.3    Sleep Apnea .....	8
2.1.4    Polysomnography.....	9
2.1.5    Apnea Hypopnea Index (AHI) .....	9
2.1.6    Episode Apnea dan Hypopnea .....	10
2.1.7    Pemantauan Gelombang Otak.....	11
2.1.8    Pemantauan Pernafasan.....	14
2.1.9    Pemantauan Detak Jantung .....	15
2.1.10    Pemantauan Kadar Oksigen dalam Darah.....	18
2.1.11    Fisiologi Tidur.....	19

2.2	Peran Empat Parameter Sistem Pemeriksaan Sleep Apnea untuk Menghasilkan Data.....	20
2.2.1	Aktivitas Gelombang Otak.....	20
2.3	Perangkat Keras .....	23
2.3.1	Raspberry Pi.....	23
2.3.2	TGAM .....	24
2.3.3	Sensor MAX30102 .....	25
2.3.4	Sensor Piezoelectric .....	26
2.3.5	Kabel Silikon.....	27
2.3.6	Kabel Jumper .....	27
2.3.7	PCB (Printed Circuit Board) .....	28
2.4	Perangkat Lunak.....	29
2.4.1	MQTT .....	29
2.4.2	Mosquitto .....	30
2.4.3	Node-RED.....	31
2.4.4	Laravel.....	31
2.4.5	Database .....	32
2.4.6	Website.....	33
2.4.7	Website.....	33
2.5	Penelitian Terkait .....	34
2.5.1	Pengembangan Sistem Pemantauan Sleep Apnea Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan.....	34
2.5.2	Layanan Kesehatan IoT: Desain Sistem Pemantauan Kualitas Tidur yang Cerdas dan Hemat Biaya .....	35
2.5.3	Perangkat Perawatan Tidur yang Dapat Dipakai: Analisis dan Pencegahan Gejala Apnea Tidur Secara Real-Time .....	35
2.5.4	Sistem Cerdas Polisomnografi Nirkabel Berbasis IoT untuk Pemantauan Tidur .....	36
2.5.5	Klasifikasi Apnea Tidur Obstruktif yang Efisien Berdasarkan Sinyal EEG .....	37
2.6	Estimasi Biaya Penelitian.....	37
<b>BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN .....</b>	<b>39</b>	

3.1	Analisis.....	39
3.1.1	Analisis Masalah .....	39
3.1.2	Analisis Pemecahan Masalah.....	40
3.1.3	Analisis Kebutuhan Sistem .....	41
3.1.3.1	Analisis Kebutuhan Perangkat Keras .....	41
3.1.3.2	Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak.....	45
3.2	Perancangan Sistem .....	47
3.2.1	Sistem Arsitektur.....	47
3.2.2	Desain Komunikasi Sistem .....	48
3.2.3	Desain Sistem.....	49
3.2.4	Rangkaian Skematik Sistem.....	50
3.3	Model Data Konseptual Database Sistem .....	51
3.4	Flowchart Sistem.....	54
3.5	Skenario Pengujian.....	56
3.5.1	Skenario Pengiriman Data Sensor Melalui MQTT ke MySQL .....	57
3.5.2	Skenario Menampilkan Data Sensor Secara Real-time di Website ...	58
3.5.3	Skenario Pengujian Pemeriksaan Pasien.....	59
3.5.4	Skenario Pengujian Sensor MAX30102 .....	60
3.5.5	Skenario Pengujian Sensor Piezoelectric .....	61
3.5.6	Skenario Pengujian Sensor TGAM.....	62
3.5.7	Skenario Pengujian Alat kepada Pengguna .....	63
<b>BAB IV IMPLEMENTASI DAN HASIL PENGUJIAN</b>	<b>.....</b>	<b>65</b>
4.1	Instalasi .....	65
4.1.1	Instalasi Raspberry Pi.....	65
4.2	Implementasi .....	68
4.2.1	Implementasi Perangkat Keras.....	68
4.2.2	Implementasi Pengolahan Data ke Database melalui Node-RED .....	72
4.2.3	Implementasi Informasi Data Pasien dan Informasi Status Pemeriksaan .....	75
4.2.4	Implementasi Nilai dari Sensor.....	77
4.2.5	Implementasi Data Hasil Pemeriksaan Pasien .....	78
4.2.6	Implementasi Inputan Data Pasien pada Dashboard Dokter.....	79

4.2.7	Implementasi Riwayat Data Pasien pada Dashboard Dokter.....	80
4.2.8	Implementasi Grafik Setelah Selesai Pemeriksaan Keseluruhan.....	81
4.3	Referensi Standar untuk Validasi Sensor.....	82
4.3.1	Tabel Standar Sensor TGAM Brain Wave .....	82
4.3.2	Tabel Standar Sensor Piezoelektrik .....	83
4.3.3	Tabel Standar Sensor MAX32102 .....	84
4.3.4	Tabel AHI (Apnea Hypopnea Index).....	84
4.3.5	Tabel Standar Aktivitas Tidur.....	85
4.3.6	Tabel Standar Hasil (Berdasarkan Tabel AHI dan Aktivitas Tidur)..	85
4.4	Pengujian Akurasi dan Validasi Prototipe .....	86
4.5	Pengujian oleh Setiap Sensor.....	88
4.5.1	MAX30102 untuk Mendeteksi Detak Jantung.....	88
4.5.2	Pengujian Sensor MAX30102 untuk Menghitung Kadar Oksigen....	93
4.5.3	Pengujian Sensor Piezoelectric untuk Menghitung Laju Pernafasan.	98
4.6	Hasil Pengujian .....	99
4.6.1	Hasil Pengujian Pemeriksaan Pasien .....	99
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>112</b>
5.1	Kesimpulan .....	112
5.2	Saran.....	112
<b>DAFTAR PUSTAKA DAN RUJUKAN.....</b>	<b>xiv</b>	
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxi</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Frekuensi serta Kondisi Mental.....	12
Tabel 2.2 Detak Jantung Normal berdasarkan Usia.....	15
Tabel 2.3 Rentang SpO2 dan Kondisinya.....	18
Tabel 2.4 Frekuensi Gelombang Otak .....	22
Tabel 2.5 Kategori Pernafasan .....	22
Tabel 2.6 Kategori SpO2 dan Detak Jantung.....	23
Tabel 2.7 Estimasi Biaya Penelitian .....	37
Tabel 3.1 Kebutuhan Perangkat Keras.....	41
Tabel 3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	45
Tabel 3.3 Pengiriman Data Sensor menggunakan MQTT ke MySQL .....	57
Tabel 3.4 Data Sensor di Website .....	58
Tabel 3.5 Pengujian untuk pemeriksaan pasien .....	59
Tabel 3.6 Pengujian Sensor MAX .....	60
Tabel 3.7 Pengujian Sensor Piezoelectric .....	61
Tabel 3.8 Pengujian Sensor TGAM .....	62
Tabel 3.9 Pengujian Alat kepada Pengguna.....	63
Tabel 4.1 Standar Sensor TGAM Brain Wave .....	82
Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi.....	83
Tabel 4.3 Pendekripsi Total Apnea.....	83
Tabel 4.4 Standar Sensor MAX32102 .....	84
Tabel 4.5 Standar AHI.....	84
Tabel 4.6 Standar Fase Tidur.....	85
Tabel 4.7 Standar Hasil (Berdasarkan Tabel AHI dan Aktivitas Tidur) .....	85
Tabel 4.8 Pengujian Sensor MAX30102 untuk Mendeteksi Detak Jantung .....	88
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Detak Jantung .....	91
Tabel 4.10 Pengujian Sensor MAX30102 untuk Menghitung Kadar Oksigen...	93
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Oksigen .....	97
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Sensor Piezoelectric .....	98
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Akhir terhadap Pasien .....	110

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur IoTW .....	8
Gambar 2.2 Sinyal Gelombang Otak .....	21
Gambar 2.3 Raspberry Pi .....	24
Gambar 2.4 Sensor TGAM .....	25
Gambar 2.5 Sensor MAX30102 .....	26
Gambar 2.6 Sensor Piezoelectric .....	26
Gambar 2.7 Kabel Silikon .....	27
Gambar 2.8 Kabel Jumper .....	28
Gambar 2.9 PCB .....	29
Gambar 2.10 MQTT .....	30
Gambar 2.11 Mosquitto .....	30
Gambar 2.12 Node-RED .....	31
Gambar 2.13 Laravel .....	32
Gambar 2.14 MySQL .....	33
Gambar 2.15 Website .....	33
Gambar 2.16 Arduino IDE .....	34
Gambar 3.1 Arsitektur Sistem .....	48
Gambar 3.2 Rancangan Sistem .....	49
Gambar 3.3 Rancangan Skematik Sistem .....	50
Gambar 3.4 Model Data Konseptual Website .....	52
Gambar 3.5 Flowchart Sistem .....	55
Gambar 4.1 Tampilan Produk .....	68
Gambar 4.2 Penggunaan Sensor Pulse Oxymeter .....	69
Gambar 4.3 Penggunaan Sensor Piezoelectric pada Perut bagian Kanan .....	70
Gambar 4.4 Penggunaan Sensor EEG .....	71
Gambar 4.5 Tampilan Pengolahan Data oleh Node-RED .....	72
Gambar 4.6 Tampilan Monitoring Sleep Apnea .....	76
Gambar 4.7 Tampilan Grafik dari Pembacaan Sensor .....	77
Gambar 4.8 Tampilan Hasil Pemeriksaan Pasien .....	78
Gambar 4.9 Tampilan Data Pasien pada Dashboard Dokter .....	79
Gambar 4.10 Tampilan Detail Riwayat Data Pasien pada Dashboard Dokter .....	80
Gambar 4.11 Tampilan Grafik Keseluruhan hasil Pemeriksaan Pasien .....	81
Gambar 4.12 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Berat .....	99
Gambar 4.13 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Berat .....	100
Gambar 4.14 Data Sensor Heart Rate Kategori Berat .....	100
Gambar 4.15 Grafik Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Berat .....	100
Gambar 4.16 Data Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Berat .....	100
Gambar 4.17 Grafik Sensor EEG Kategori Berat .....	101
Gambar 4.18 Data Sensor EEG Kategori Berat .....	101
Gambar 4.19 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Berat .....	101
Gambar 4.20 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Sedang .....	102
Gambar 4.21 Data Sensor Pernafasan Kategori Sedang .....	102
Gambar 4.22 Grafik Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Sedang .....	102
Gambar 4.23 Data Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Sedang .....	103
Gambar 4.24 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Sedang .....	103
Gambar 4.25 Data Sensor Heart Rate Kategori Sedang .....	103

Gambar 4.26 Grafik Sensor EEG Kategori Sedang .....	103
Gambar 4.27 Data Sensor EEG Kategori Sedang .....	104
Gambar 4.28 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Sedang .....	104
Gambar 4.29 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Ringan .....	104
Gambar 4.30 Data Sensor Pernafasan Kategori Ringan .....	105
Gambar 4.31 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Ringan.....	105
Gambar 4.32 Data Sensor Heart Rate Kategori Ringan.....	105
Gambar 4.33 Grafik Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Ringan.....	105
Gambar 4.34 Data Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Ringan.....	106
Gambar 4.35 Grafik Sensor EEG Kategori Ringan .....	106
Gambar 4.36 Data Sensor EEG Kategori Ringan .....	106
Gambar 4.37 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Ringan .....	106
Gambar 4.38 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Normal.....	107
Gambar 4.39 Data Sensor Pernafasan Kategori Normal.....	107
Gambar 4.40 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Normal .....	108
Gambar 4.41 Data Sensor Heart Rate Kategori Normal .....	108
Gambar 4.42 Grafik Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Normal .....	108
Gambar 4.43 Data Sensor SpO <sub>2</sub> Kategori Normal .....	108
Gambar 4.44 Grafik Sensor EEG Kategori Normal.....	109
Gambar 4.45 Data Sensor EEG Kategori Normal .....	109
Gambar 4.46 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Normal.....	109

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Bab ini akan menjelaskan latar belakang masalah untuk memahami alasan dilaksanakannya tugas akhir ini. Tujuan dari tugas akhir akan dipaparkan, dan pertanyaan-pertanyaan yang akan dijawab dalam proses penggerjaan akan dirumuskan. Batasan-batasan yang menjadi acuan juga akan dijelaskan, serta hasil yang diharapkan akan dijabarkan. Selain itu, sistematika penyajian tugas akhir akan diuraikan agar pembaca dapat memahami setiap bagian yang membentuk keseluruhan tugas ini.

#### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini, teknologi menjadi bagian yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan sudah memungkinkan berbagai mesin serta perangkat yang digunakan sehari-hari untuk dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh melalui teknologi *Internet of Things* (IoT) [1]. Internet of Things adalah jaringan komunikasi di mana perangkat dan sensor terhubung satu sama lain atau dengan sistem yang lebih besar. Transformasi ini akan menghadirkan banyak peluang untuk mempermudah kehidupan. Salah satu peluang penting adalah layanan e-kesehatan, yang semakin berkembang dan sangat relevan bagi kesehatan. Penggunaan IoT di sektor kesehatan terus meningkat, namun orang yang tinggal di daerah pedesaan sering kali tidak dapat menikmati layanan kesehatan preventif karena kurangnya infrastruktur [2].

Salah satu penerapan teknologi informasi terlihat di bidang kesehatan, khususnya kedokteran. Kemajuan dalam sektor kesehatan berkembang dengan sangat cepat, menghasilkan berbagai temuan baru yang didukung oleh teknologi informasi, baik dalam manajemen rumah sakit, pengobatan, maupun penelitian dan pengembangan ilmu Kesehatan [3]. Kemajuan teknologi di bidang kesehatan kini memudahkan pasien dalam mengakses layanan kesehatan. Jika dulu pasien harus mendatangi penyedia layanan, sekarang justru penyedia layanan kesehatan yang mendekatkan diri kepada pasien [4]. Rumah sakit merupakan salah satu pelayanan masyarakat

yang diharapkan mampu memberikan layanan yang baik, cepat dan tepat terhadap kondisi pasien sehingga pasien merasa aman dan nyaman [5].

Rumah sakit memanfaatkan teknologi seperti layanan berbasis IoT, yang menghubungkan berbagai perangkat ber sensor dan fungsi komunikasi ke internet, termasuk identifikasi objek dan sensor terpasang. Teknologi IoT digunakan untuk berbagai keperluan, seperti menurunkan biaya operasional, meningkatkan efektivitas pengobatan, mengurangi keterlambatan diagnosis, mendeteksi kerusakan lebih awal, memaksimalkan penggunaan peralatan, meningkatkan keselamatan pasien, efisiensi energi gedung, profitabilitas, pengalaman pengguna, efisiensi operasional, dan melindungi sumber daya [6].

Tidur sangat penting bagi manusia karena tubuh manusia memerlukan proses pemulihan kepada tubuh dan otak agar optimal ketika melakukan aktivitas kembali, kondisi tidur yang baik pada manusia dapat ditentukan dengan faktor jam tidur (kuantitas tidur) dan faktor kedalaman tidur (kualitas tidur), faktor kualitas tidur ini meliputi jam tidur manusia dan berapa jam manusia tidur sedangkan faktor kualitas tidur ini meliputi banyak pengecekan pada tubuh manusia untuk mengetahui kedalaman kualitas tidur manusia [7].

Tidur dan istirahat termasuk kebutuhan mendasar bagi manusia. Tidur yang selaras dengan ritme sirkadian berperan penting dalam memulihkan kondisi fisik dan memberi waktu istirahat bagi berbagai organ tubuh. Selama tidur, tekanan darah mengalami fluktuasi, denyut jantung melambat, otot serta jaringan tubuh menjadi rileks, dan tubuh melakukan proses perbaikan dengan menggantikan sel-sel yang rusak atau mati. Tidur dan istirahat menjadi sangat penting karena tanpa tidur dan istirahat dapat mengakibatkan tubuh manusia tidak berfungsi dengan baik. Timbulnya gangguan yang muncul ketika seseorang tidur ternyata dapat berakibat fatal bahkan sampai mengancam nyawa individu tersebut. Gangguan tersebut adalah sleep apnea [8].

Pada saat tidur manusia tidak mengetahui kondisi tubuhnya secara pasti tetapi manusia dapat merasakan kualitas tidur dengan merasakan baik atau buruk kondisi

tubuhnya pada saat menjalankan aktivitas setelah bangun tidur. Untuk mengetahui kualitas tidur manusia terdapat metode Polysomnography yang dapat mendeteksi kondisi tubuh manusia yang mencakup merekam gelombang otak (EEG), memantau detak jantung pasien (ECG), memantau aktivitas pernapasan manusia, memantau kadar oksigen dalam darah, memantau posisi kaki, dan memantau aktivitas mata (EOG) yang pengecekannya digunakan di rumah sakit. Polysomnography dapat mendeteksi jenis-jenis gangguan tidur seperti *Insomnia*, *sleep apnea*, *Central disorders of hypersomnolence*, *Circadian rhythm sleep-wake disorder*, *Parasomnias*, dan *Sleep-related movement disorders* [9].

*Sleep Apnea* adalah kondisi di mana terjadi gangguan frekuensi pernapasan yang tidak normal selama tidur, yang berkaitan dengan penyempitan saluran napas bagian atas. Kondisi ini bisa berupa berhentinya nafas (apnea) atau berkurangnya aliran udara (hipopnea) [10]. Sleep Apnea merupakan gangguan tidur utama yang menyebabkan terhentinya sebagian atau seluruh pernapasan saat tidur. Kondisi ini dapat terjadi dalam beberapa episode sepanjang malam atau berlangsung dalam waktu singkat selama [11].

Ciri khas *sleep apnea* adalah kolaps berulang pada saluran pernapasan bagian atas, yang mengakibatkan penurunan kadar oksigen dalam darah dan sering membangunkan pasien. Untuk deteksi dini *sleep apnea* diperlukan layanan pemeriksa yang bertujuan untuk mengevaluasi pola tidur pasien. *Sleep apnea* yang tidak diobati dapat menyebabkan berbagai komplikasi serius. Seseorang yang mengalami kualitas dan kuantitas tidur yang buruk cenderung lebih rentan terhadap penyakit, termasuk serangan jantung, anemia, dan tekanan darah tinggi seperti hipertensi, serta penyakit jantung, stroke, dan gangguan kognitif seperti Alzheimer. Hipertensi dan *Obstructive Sleep Apnea* (OSA) sering kali terjadi bersamaan. Sekitar 30% penderita darah tinggi juga mengalami gangguan tidur akibat OSA, yang seringkali tidak terdeteksi sehingga berisiko memperburuk kondisi kesehatan [12]. Penderita Alzheimer sering kali mengeluhkan kesulitan tidur di malam hari dan merasa mengantuk di siang hari. Hal ini disebabkan oleh perubahan pola tidur yang khas pada penyakit ini, yaitu berkurangnya waktu tidur nyenyak dan meningkatnya waktu terjaga [13].

Saat ini pemeriksaan *obstructive sleep apnea* dilakukan pada rumah sakit yang memiliki layanan pemeriksaan tersebut, pemeriksaan *obstructive sleep apnea* dinamakan polisomnografi yang mencakup empat pengecekan yaitu: pemeriksaan aktivitas jantung, otak, pola pernapasan, serta kadar oksigen dalam darah[14]. Namun, pemeriksaan yang dilakukan di layanan rumah sakit membutuhkan biaya yang besar tetapi tidak segera ditangani oleh dokter. Maka dari itu diperlukan alat yang mudah digunakan, dapat digunakan di rumah oleh pasien, dan keakuratan pengecekannya agar tidak terjadi gejala keterpanjangan oleh penderita pasien *obstructive sleep apnea* [15].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, penulis bertujuan untuk merancang sebuah sistem yaitu dengan membangun sebuah sistem monitoring sleep apnea dapat dilakukan secara jarak jauh sehingga proses monitoring menjadi lebih efisien. Dimana penelitian ini bertujuan untuk menghubungkan dokter dengan pasien rawat jalan secara jarak jauh. Dengan begitu, pihak rumah sakit akan mudahkan dalam monitoring pasien [5].

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penggerjaan Tugas Akhir ini adalah menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) untuk membangun sistem pemantauan sleep apnea yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan lansia. Sistem ini menyediakan pemantauan real-time kondisi lansia yang mengalami sleep apnea secara jarak jauh, sehingga mereka dapat dipantau oleh dokter tanpa harus datang ke rumah sakit. Selain itu, sistem ini juga dikembangkan berbasis aplikasi untuk mempermudah pengguna dalam memantau kondisi tidur lansia.

## 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penggerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana penerapan sistem monitoring sleep apnea berbasis IoT dapat meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi pemantauan kesehatan pasien secara jarak jauh?
2. Bagaimana teknologi IoT dapat memberikan kemudahan akses bagi pasien untuk melakukan pemantauan sleep apnea dari rumah?

3. Bagaimana teknologi IoT dapat diimplementasikan untuk mendeteksi sleep apnea secara efektif pada pasien dalam aplikasi kesehatan?

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Pemantauan berfokus pada empat parameter utama PSG yaitu: Gelombang otak (EEG), Pernapasan, Detak jantung dan Kadar oksigen dalam darah.
2. Faktor lain seperti suara mendengkur, gerakan tubuh, dan posisi tidur tidak dianalisis.
3. Pengujian alat dilakukan di rumah untuk memudahkan lansia yang sulit mengakses rumah sakit.
4. Penelitian hanya melibatkan lansia dengan risiko tinggi sleep apnea.
5. Tidak mencakup diagnosis kondisi tidur lain atau subjek dengan masalah kesehatan kompleks.

#### **1.5 Hasil yang Diharapkan**

Hasil yang diharapkan dari penggerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Model alat pemantauan sleep apnea yang lebih sederhana dengan hanya menggunakan empat parameter PSG utama.
2. Alat ini dapat digunakan dengan mudah di rumah dengan biaya yang lebih terjangkau, sehingga masyarakat dapat mendeteksi sleep apnea lebih dini dan mengurangi risiko komplikasi kesehatan.
3. Efisiensi dari segi biaya dan kemudahan penggunaan, sehingga dapat digunakan oleh pasien di rumah mendeteksi sleep apnea secara dini yang dipantau oleh Dokter.

#### **1.6 Sistematika Penyajian**

Secara garis besar dokumen Tugas Akhir ini dibagi menjadi 6 bab yang disusun secara terurut dan sistematis antarai lain:

##### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat dari implementasi pembangunan sistem, ruang lingkup, hasil yang diharapkan, serta sistematika penyajian Tugas Akhir.

**2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi uraian setiap dasar teori, uraian yang berisi tentang ungkapan-ungkapan atau ringkasan yang berasal dari sumber yang digunakan dalam penggerjaan Tugas Akhir.

**3. BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM**

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis serta perancangan sistem yang akan dibangun dan diimplementasikan sesuai perancangan pada penggerjaan Tugas Akhir.

**4. BAB IV IMPLEMENTASI DAN HASIL PENGUJIAN**

Pada bab ini berisi implementasi dan pengujian terhadap proyek atau sistem yang telah dibangun.

**5. BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan yang diperoleh setelah menyelesaikan proyek Tugas Akhir ini berisi saran mengenai pengembangan proyek yang dibangun untuk kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tujuan pustaka sebagai dasar teori yang kan digunakan sebagai landasan utama dalam perancangan dan pembangunan produk yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

#### **2.1 Landasan Teori**

Pada Bab ini membahas teori-teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian. Teori-teori tersebut digunakan untuk mendukung pemahaman terhadap permasalahan yang dikaji serta sebagai acuan dalam penyusunan metode dan analisis data pada penelitian ini. Melalui penjabaran teori yang relevan, diharapkan dapat memberikan kerangka berpikir yang sistematis dan logis dalam menjelaskan fenomena yang diteliti. Selain itu, landasan teori juga berfungsi untuk memperkuat argumentasi dari hasil yang diperoleh selama proses penelitian.

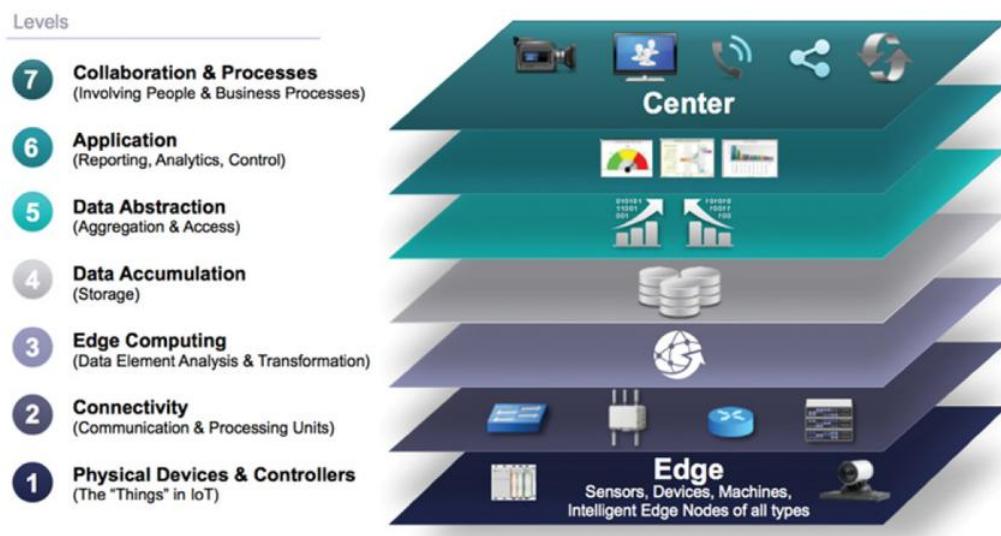
##### **2.1.1 Sistem Monitoring**

Sistem monitoring adalah proses atau yang dirancang untuk memantau, merekam, dan menganalisis data secara kontinu guna memberikan informasi yang relevan, akurat, dan real-time. Dalam bidang kesehatan, sistem monitoring memanfaatkan sensor dan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter vital seperti saturasi oksigen dalam darah (SpO<sub>2</sub>), detak jantung, dan suhu tubuh. Data yang diperoleh diolah dan dapat diakses secara jarak jauh, sehingga mendukung deteksi dini serta pengambilan keputusan yang cepat oleh tenaga medis atau pengguna.

Sistem ini memungkinkan pemantauan kesehatan yang lebih efisien dan terintegrasi, terutama untuk kondisi kritis seperti hipoksemia. Sistem ini mendukung pemantauan kesehatan yang lebih efisien dan terintegrasi, baik di rumah maupun di fasilitas medis. Teknologi ini berkontribusi pada peningkatan kualitas layanan kesehatan dengan memastikan parameter vital pasien tetap dalam batas aman dan memudahkan pengawasan secara berkelanjutan [16][17].

### 2.1.2 Internet of Things

*Internet of Things* (IoT) adalah konsep pada *smart object* yang dapat saling berkomunikasi untuk mengirim dan menerima data melalui internet. Dengan menerapkan arsitektur IoT di bidang kesehatan dapat digunakan untuk pemantauan kondisi kesehatan pasien jarak jauh, sehingga memfasilitasi dokter dan pasien dengan akses layanan kesehatan tanpa harus mengunjungi rumah sakit secara langsung [18][19][20].



Gambar 2.1 Arsitektur IoTW

(Sumber: ResearchGate [21])

### 2.1.3 Sleep Apnea

*Sleep Apnea* merupakan gangguan tidur yang dapat berbahaya, di mana pernapasan secara berulang kali terhenti, sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen dalam darah. *Sleep Apnea* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Pertama, *Obstructive Sleep Apnea* (OSA), bentuk paling umum, terjadi ketika otot-otot di tenggorokan rileks dan menghalangi aliran udara. Kedua, *Central Sleep Apnea* disebabkan oleh otak tidak mengirimkan sinyal yang benar ke otot yang mengontrol pernapasan. dan yang ketiga adalah *Central Sleep Apnea*. Dikenal sebagai *Central Sleep Apnea*, penyakit ini disebabkan oleh terapi pernapasan. *Sleep Apnea* berbahaya karena dapat menyebabkan berbagai komplikasi serius seperti stroke, serta penyakit penyerta lainnya seperti diabetes, hipertensi, gagal ginjal, bahkan kematian mendadak. Metode diagnosis *Sleep Apnea* dimulai dengan tes untuk mencatat keluhan pasien melalui wawancara. Setelah ditentukan

bahwa pasien kemungkinan besar menderita *Sleep Apnea*, diagnosis dilanjutkan menggunakan polisomnografi [22].

#### **2.1.4 Polysomnography**

Polisomnografi yang dikenal juga sebagai studi tidur adalah prosedur diagnostik untuk mengidentifikasi gangguan tidur. Tes ini memantau aktivitas otak, tingkat oksigen dalam darah, detak jantung, kecepatan pernapasan, serta pergerakan mata dan kaki selama seseorang tidur. Pengujian ini umumnya dilakukan di pusat gangguan tidur khusus [22]. Polisomnografi bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai gangguan terkait pola dan kualitas tidur, seperti, Diagnosis *Restless Legs Syndrome* (RLS). RLS dapat diartikan dengan keadaan yang ditandai dengan keinginan untuk menggerakkan kaki untuk menghilangkan sensasi yang tidak menyenangkan atau aneh. Kondisi ini dapat dideteksi, didiagnosis, dengan pengujian polisomnografi (PSG) [23].

Selain itu pemeriksaan polisomnografi juga dapat dilakukan pada diagnosis insomnia kronis. Insomnia kronis adalah kondisi di mana seseorang mengalami kesulitan untuk memulai tidur, mempertahankan tidur, atau memiliki kualitas tidur yang buruk, dan kondisi ini berlangsung selama satu bulan atau lebih. Polisomnografi juga dapat digunakan dalam diagnosis Sleep apnea [24].

#### **2.1.5 Apnea Hypopnea Index (AHI)**

*Apnea Hypopnea Index* (AHI) adalah nilai yang diskalakan untuk menghitung tingkat keparahan pada pemeriksaan sleep apnea. Dengan mengumpulkan data pemeriksaan apnea dengan menghitung episode henti nafas berdasarkan Sensor *Piezoelectric* dan Sensor MAX30102 dan data pemeriksaan *hypopnea* dengan menghitung episode turunnya pernafasan berdasarkan aktivitas otak dan aktivitas jantung secara signifikan kurang lebih selama 10 detik. Dengan rumus berikut dapat menentukan AHI dari pengecekan *sleep apnea*:

$$AHI = \frac{\text{Total Episode Apnea} + \text{Hypopnea}}{\text{Durasi Tidur (Jam)}}$$

(Sumber: Alomedika.com [25])

### Keterangan:

AHI	= Apnea Hypopnea Index
Total episode apnea	= Kondisi henti nafas ketika tidur
Hypopnea	= Kondisi penyempitan pernafasan ketika tidur
Durasi Tidur	= Lama tidur

Secara medis, nilai AHI diklasifikasikan sebagai berikut:

- **Normal:** AHI < 5
- **Ringan:**  $5 \leq \text{AHI} < 15$
- **Sedang:**  $15 \leq \text{AHI} < 30$
- **Berat:**  $\text{AHI} \geq 30$

Dalam penerapan teknologi IoT untuk mendeteksi *Sleep Apnea*, sensor digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Sensor Piezoelectric berfungsi untuk mendeteksi gerakan dada dan perut saat bernapas. Jika sensor ini tidak mendeteksi gerakan bernapas selama 10 detik atau lebih, maka kondisi itu bisa dianggap sebagai episode apnea [26].

Selain itu, sensor MAX30102 yang menggunakan metode photoplethysmography (PPG) dapat mengukur saturasi oksigen dalam darah ( $\text{SpO}_2$ ) dan detak jantung. Saat terjadi hypopnea, biasanya saturasi oksigen menurun dan denyut jantung berubah secara signifikan selama periode tertentu, sehingga sensor ini dapat membantu mengenali episode hypopnea [27].

Dengan menggabungkan data dari kedua sensor tersebut, sistem dapat secara otomatis menghitung jumlah episode apnea dan hypopnea yang terjadi selama tidur, kemudian menghitung nilai AHI. Nilai ini bisa dipakai untuk menentukan tingkat keparahan gangguan tidur yang dialami seseorang dan membantu pengambilan keputusan medis lebih lanjut.

#### 2.1.6 Episode Apnea dan Hypopnea

Apnea dan hypopnea didefinisikan sesuai dengan kriteria standar. Suatu peristiwa dikategorikan sebagai apnea apabila memenuhi dua syarat, yaitu: pertama, terjadi penurunan puncak ekspansi pernapasan sebesar  $\geq 90\%$  dari nilai dasar sebelum kejadian yang terdeteksi menggunakan sensor; dan kedua, penurunan sebesar  $\geq 90\%$

tersebut berlangsung selama minimal 10 detik. Sementara itu, suatu peristiwa dikategorikan sebagai hypopnea jika juga memenuhi dua syarat, yaitu: pertama, terjadi penurunan puncak ekspansi pernapasan sebesar  $\geq 30\%$  dari nilai dasar sebelum kejadian yang terdeteksi oleh sensor; dan kedua, penurunan  $\geq 30\%$  tersebut berlangsung selama minimal 10 detik. Di lingkungan rumah sakit, digunakan kriteria tambahan berupa penurunan saturasi oksigen sebesar  $\geq 4\%$  dari nilai dasar sebelum kejadian sebagai indikator tambahan dalam mengidentifikasi hypopnea, sesuai pedoman Centers for Medicare and Medicaid Services (CMS). Penentuan diagnosis obstructive sleep apnea (OSA) mengacu pada nilai Apnea-Hypopnea Index (AHI), dengan klasifikasi sebagai berikut: normal apabila AHI  $< 5$  kejadian per jam; OSA ringan jika AHI berada dalam rentang 5–14 kejadian per jam; OSA sedang untuk AHI antara 15–30 kejadian per jam; dan OSA berat apabila AHI melebihi 30 kejadian per jam [28].

### 2.1.7 Pemantauan Gelombang Otak

Gelombang otak disebut dengan *electrical biosignal* yang merupakan arus listrik merepresentasikan aktivitas manusia melalui pembacaan lima pita frekuensi yaitu alpha, beta dibagi menjadi dua *low beta* dan *high beta*, *gamma*, *delta*, dan *theta* yang mempengaruhi kelima pita frekuensi ini adalah sistem jaringan, organ atau sel seperti sistem saraf [29].

Tabel di bawah ini menggambarkan hubungan antara pita frekuensi gelombang otak, ukuran frekuensi dalam Hertz (Hz), dan kondisi mental yang terkait. Frekuensi gelombang otak dihasilkan dari aktivitas neuron dalam otak dan dapat diukur menggunakan alat seperti elektroensefalografi (EEG). Gelombang ini memiliki peran penting dalam mencerminkan berbagai kondisi mental dan fisiologis seseorang. Beberapa tipe frekuensi dan kondisi mental dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tipe Frekuensi serta Kondisi Mental

<b>Pita Frekuensi</b>	<b>Ukuran Frekuensi</b>	<b>Kondisi Mental</b>	<b>Keterangan</b>
Delta	0.1 Hz – 3 Hz	Tidur nyenyak, tanpa mimpi, tidak sadarkan diri	Gelombang delta adalah gelombang otak dengan frekuensi paling rendah dan biasanya muncul saat seseorang dalam keadaan tidur nyenyak tanpa mimpi. Aktivitas gelombang delta berkaitan dengan regenerasi tubuh, pemulihan energi, dan pemeliharaan kesehatan fisik. Frekuensi ini juga muncul saat seseorang tidak sadarkan diri atau dalam kondisi sangat rileks.
Theta	4 Hz - 7 Hz	Intuitif, kreatif, mengingat, fantasi, imajinasi, mimpi	Gelombang theta biasanya muncul saat seseorang berada dalam kondisi mental yang intuitif dan kreatif. Aktivitas ini sering ditemukan pada saat bermimpi, berimajinasi, atau mengingat informasi. Theta juga terkait dengan keadaan relaksasi yang dalam, meditasi, atau fantasi, di mana otak bebas mengeksplorasi ide-ide tanpa distraksi dari dunia luar.

<b>Pita Frekuensi</b>	<b>Ukuran Frekuensi</b>	<b>Kondisi Mental</b>	<b>Keterangan</b>
Alpha	8 Hz - 12 Hz	Santai, tidak mengantuk, tenang, sadar	Gelombang alpha menunjukkan keadaan santai namun tetap sadar. Frekuensi ini sering muncul saat seseorang merasa tenang, tidak mengantuk, namun dalam keadaan siap untuk menerima informasi. Kondisi ini ideal untuk belajar atau kegiatan yang membutuhkan fokus tanpa tekanan mental.
Low Beta	12 Hz - 15 Hz	Sebelumnya aktivitas <i>Sensory Motoric Rhythm</i> , santai namun fokus, terintegrasi	Pita frekuensi ini sering dikaitkan dengan aktivitas <i>Sensory Motoric Rhythm</i> (SMR), yang mencerminkan keseimbangan antara relaksasi dan fokus. Individu dalam keadaan low beta cenderung tenang namun tetap mampu berkonsentrasi dengan baik. Frekuensi ini penting untuk aktivitas yang membutuhkan integrasi sensorimotor, seperti membaca atau memecahkan masalah sederhana.
High Beta	21 Hz - 30 Hz	Kewaspadaan, agitasi (gelisah)	Gelombang high beta berkaitan dengan kewaspadaan tinggi dan respons terhadap rangsangan eksternal yang cepat. Aktivitas mental dalam pita frekuensi ini biasanya terjadi saat seseorang

			merasa gelisah, tertekan, atau sangat fokus pada situasi yang membutuhkan keputusan cepat. Frekuensi ini juga dapat muncul dalam kondisi stres.
Gamma	30 Hz - 100 Hz	Fungsi motorik, aktivitas mental yang lebih tinggi	Gelombang gamma memiliki frekuensi tertinggi dan terkait dengan aktivitas mental tingkat tinggi, seperti pemrosesan informasi yang kompleks, koordinasi motorik, dan fungsi kognitif tingkat lanjut. Gelombang ini juga muncul saat seseorang mengalami momen pencerahan atau saat otak terlibat dalam aktivitas yang sangat terintegrasi.

Tabel ini memberikan panduan penting dalam memahami dinamika aktivitas otak dan aplikasinya dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, pendidikan, dan penelitian. Dalam konteks tugas akhir, data ini relevan untuk menjelaskan hubungan gelombang otak dengan pengukuran EEG untuk keperluan monitoring kondisi kesehatan, misalnya pada pasien dengan gangguan tidur seperti apnea.

### 2.1.8 Pemantauan Pernafasan

Frekuensi seseorang bernapas dalam periode waktu tertentu disebut laju pernapasan. Laju ini bersifat dinamis dan dapat berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan oksigen tubuh. Sebagai contoh, ketika tubuh dalam keadaan beristirahat, laju pernapasan cenderung meningkat. Perubahan laju pernapasan ini erat kaitannya dengan kadar gas dalam darah, seperti penurunan kadar oksigen atau peningkatan kadar karbon dioksida. Kenaikan konsentrasi karbon dioksida, yang dapat berasal dari infeksi, juga dapat memicu pernapasan menjadi lebih cepat. Selain itu, laju pernapasan yang tidak normal dapat menjadi indikator adanya gangguan medis

tertentu, seperti penyakit paru-paru kronis, efek anestesi, sindrom kematian mendadak pada bayi, serta kondisi *sleep apnea*. Oleh karena itu, pemantauan laju pernapasan menjadi penting dan memerlukan bantuan sensor untuk mendeteksi kondisi tersebut [30].

Pemantauan Laju pernapasan diukur dengan pengolahan sinyal suara dengan pemrosesan menggunakan nilai desibel yang ditentukan tingkat sensitivitasnya untuk mendeteksi pernafasan manusia [22]. Pola pernafasan manusia berfungsi untuk siklus pertukaran udara pada paru paru, rata-rata dari laju pernapasan orang dewasa sampai lansia pada rentang 12 - 20 pernapasan per menit [31].

### 2.1.9 Pemantauan Detak Jantung

Detak jantung dapat dipantau secara manual dengan menekan dua jari pada nadi untuk menghitung detak jantung selama waktu pengujian. Saat ini detak jantung dapat diperiksa melalui alat yang ditempelkan pada nadi dan dapat mendeteksi detak jantung normal saat tidur [32].

Tabel di bawah ini menunjukkan rentang detak jantung normal berdasarkan kategori usia, dengan nilai minimal, maksimal, dan rata-rata dalam satuan *beats per minute* (bpm). Detak jantung mencerminkan seberapa sering jantung berdetak dalam satu menit dan dipengaruhi oleh usia seseorang, kondisi tubuh, serta aktivitas fisik yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Detak Jantung Normal berdasarkan Usia

Usia	Minimal (bpm)	Maksimal (bpm)	Rata-rata (bpm)	Keterangan
Baru Lahir	100	180	140	Bayi yang baru lahir memiliki detak jantung tertinggi, dengan kisaran antara 100 hingga 180 bpm, dan rata-rata sekitar 140 bpm. Tingginya detak jantung ini wajar karena metabolisme bayi yang cepat dan kebutuhan

<b>Usia</b>	<b>Minimal (bpm)</b>	<b>Maksimal (bpm)</b>	<b>Rata-rata (bpm)</b>	<b>Keterangan</b>
				oksidigen yang tinggi untuk mendukung pertumbuhan.
1 bulan - 1 tahun	80	160	120	Pada usia ini, detak jantung sedikit menurun dibandingkan bayi baru lahir, berkisar antara 80 hingga 160 bpm dengan rata-rata 120 bpm. Perubahan ini disebabkan oleh perkembangan organ jantung yang mulai lebih efisien dalam memompa darah.
1 tahun - 3 tahun	80	130	105	Anak-anak usia ini memiliki detak jantung yang lebih stabil, yaitu antara 80 hingga 130 bpm, dengan rata-rata 105 bpm. Aktivitas fisik yang tinggi pada kelompok usia ini dapat memengaruhi variasi detak jantung harian.
3 tahun - 6 tahun	80	120	100	Frekuensi detak jantung menurun lebih lanjut seiring pertumbuhan, dengan kisaran antara 80 hingga 120 bpm dan rata-rata 100 bpm. Ini menunjukkan adaptasi tubuh yang semakin baik dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh organ.
6 tahun - 12 tahun	65	100	83	Pada usia sekolah, detak jantung normal berkisar antara 65 hingga 100 bpm, dengan

<b>Usia</b>	<b>Minimal (bpm)</b>	<b>Maksimal (bpm)</b>	<b>Rata-rata (bpm)</b>	<b>Keterangan</b>
				rata-rata 83 bpm. Penurunan ini mencerminkan peningkatan efisiensi kerja jantung yang berkembang seiring bertambahnya usia.
12 tahun - 18 tahun	60	90	85	Masa remaja menunjukkan detak jantung yang lebih mendekati pola orang dewasa, dengan kisaran 60 hingga 90 bpm dan rata-rata 85 bpm. Perubahan ini juga dipengaruhi oleh pertumbuhan fisik yang signifikan selama masa pubertas.
19 tahun - 69 tahun	60	100	80	Pada kelompok usia dewasa, detak jantung normal stabil di antara 60 hingga 100 bpm dengan rata-rata 80 bpm. Rentang ini mencerminkan kondisi jantung yang matang dan efisien selama masa dewasa.
> 70 tahun	60	100	80	Pada usia lanjut, rentang detak jantung tetap berada di 60 hingga 100 bpm dengan rata-rata 80 bpm. Meskipun fungsi jantung dapat mengalami penurunan terkait usia, rentang ini dianggap normal jika tidak ada kondisi medis tertentu.

Tabel tersebut menjelaskan variasi detak jantung normal berdasarkan usia, mencakup nilai terendah, tertinggi, dan rata-rata. Perbedaan ini menunjukkan bagaimana detak jantung menyesuaikan diri sesuai dengan perkembangan tubuh dan kebutuhan oksigen yang berbeda di setiap fase kehidupan, mulai dari bayi hingga usia lanjut.

#### **2.1.10 Pemantauan Kadar Oksigen dalam Darah**

Kadar oksigen dalam darah atau SpO<sub>2</sub> adalah persentase hemoglobin (Hb) yang jenuh oleh oksigen. Penurunan SpO<sub>2</sub> dapat menyebabkan terjadinya hipoksia, yang dapat meningkatkan risiko komplikasi serius pada pasien. Dengan memantau SpO<sub>2</sub>, saturasi oksigen dapat diketahui secara dini, sehingga tindakan medis yang tepat dapat segera dilakukan [33].

Tabel 2.3 Rentang SpO<sub>2</sub> dan Kondisinya

Rentang Saturasi Oksigen (SpO <sub>2</sub> )	Kondisi	Keterangan
100% - 95%	Normal	Rentang ini menunjukkan tingkat saturasi oksigen yang ideal. Pada kondisi ini, tubuh mendapatkan oksigen yang cukup untuk mendukung fungsi organ vital, termasuk otak dan otot. Rentang ini mencerminkan kondisi kesehatan paru-paru dan sistem pernapasan yang baik.
94% - 90%	Penyakit pernafasan, Penyakit paru paru, Hipoksia Ringan	Pada tingkat ini, saturasi oksigen mulai menurun, yang dapat mengindikasikan adanya gangguan pada sistem pernapasan atau paru-paru, seperti asma, pneumonia, atau penyakit paru obstruktif

Rentang Saturasi Oksigen (SpO2)	Kondisi	Keterangan
		kronis (PPOK). Individu dalam rentang ini mengalami <i>hipoksia ringan</i> , yaitu kekurangan oksigen yang belum terlalu parah namun membutuhkan perhatian medis.
89% - ≤85%	Hipoksia kritis	Saturasi oksigen dalam rentang ini menunjukkan kondisi yang serius, di mana tubuh mengalami kekurangan oksigen yang signifikan ( <i>hipoksia kritis</i> ). Ini dapat mengancam fungsi organ vital dan memerlukan intervensi medis segera, seperti pemberian oksigen tambahan atau perawatan intensif.

Tabel ini membantu mengidentifikasi kondisi kesehatan berdasarkan saturasi oksigen, yang sangat penting dalam pemantauan pasien dengan gangguan pernapasan atau penyakit yang memengaruhi distribusi oksigen dalam tubuh.

### 2.1.11 Fisiologi Tidur

Stadium tidur yang diukur menggunakan polisomnografi terdiri dari dua jenis, yaitu tidur *rapid eye movement* (REM) dan *non-rapid eye movement* (NREM). Tidur REM, yang sering disebut sebagai tidur paradoks atau tidur bermimpi, ditandai oleh aktivitas EEG yang menyerupai keadaan terjaga dan disertai gerakan mata cepat. Sementara itu, tidur NREM disebut juga sebagai tidur ortodoks atau tidur gelombang lambat, dan keduanya terjadi secara bergantian dalam satu siklus yang berlangsung selama 70–120 menit, dengan total 4–6 siklus per malam. Durasi fase REM akan semakin panjang seiring bertambahnya waktu tidur [34].

Stadium 0 merupakan transisi dari bangun ke tidur, ditandai dengan gelombang alfa 8–12 Hz dan peningkatan tonus otot. Stadium 1 (onset tidur) adalah fase awal tidur NREM, mencakup sekitar 5% dari total tidur, ditandai dengan penurunan gelombang alfa, dominasi gelombang theta (4–7 Hz), dan aktivitas otot yang menurun. Individu mudah terbangun pada tahap ini. Stadium 2 merupakan fase tidur dangkal yang mencakup sekitar 50% dari total tidur, ditandai oleh gelombang theta, kemunculan kumparan tidur (*sleep spindles*) dengan frekuensi 12–14 Hz, dan kompleks K dengan durasi sekitar 500 ms [34].

Stadium 3 dan 4 dikenal sebagai tidur gelombang lambat atau tidur dalam. Stadium 3 menunjukkan aktivitas delta sebesar 20–50%, sedangkan stadium 4 lebih dari 50%, dengan frekuensi 1–2 Hz dan amplitudo tinggi. Pada fase ini tidak terdapat gerakan bola mata, dan tonus otot tetap. Kedua stadium ini berlangsung sekitar 10–20% dari total tidur, umumnya terjadi pada sepertiga malam pertama dan meningkat durasinya setelah deprivasi tidur. Fase tidur REM mirip dengan stadium 1 dalam pola EEG, namun disertai gerakan bola mata yang cepat secara periodik [34].

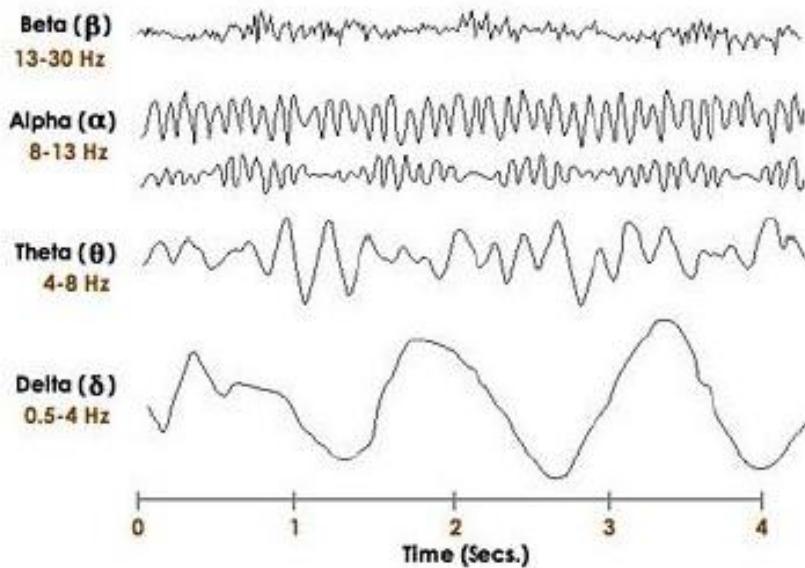
## **2.2 Peran Empat Parameter Sistem Pemeriksaan *Sleep Apnea* untuk Menghasilkan Data**

Sistem pemeriksaan *sleep apnea* menggunakan empat parameter utama dalam metode Polysomnography (PSG), yaitu aktivitas gelombang otak (EEG), pernapasan, kadar oksigen dalam darah ( $\text{SpO}_2$ ), dan detak jantung (*heart rate*). Keempat parameter ini digunakan untuk mendeteksi gangguan tidur seperti *apnea* dan *hypopnea* secara akurat. Berikut adalah penjelasan mengenai peran dan perhitungan dari masing-masing sensor.

### **2.2.1 Aktivitas Gelombang Otak**

Data aktivitas gelombang otak dikumpulkan menggunakan sensor TGAM EEG. Sensor ini memiliki karakteristik sebagai saluran tunggal (*single EEG channel*) yang mampu menghasilkan data mentah (*raw data*) dengan frekuensi sampling sebesar 512 Hz. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Hasil dari proses ini memungkinkan sistem untuk mengelompokkan

sinyal otak ke dalam lima jenis gelombang, yaitu delta, theta, alpha, beta, dan gamma.



Gambar 2.2 Sinyal Gelombang Otak

(Sumber: Jurnal Listrik [35])

Rumus:

$$\boxed{FFT f_j = \sum_{k=0}^{N-1} w_N^{k_j} f_k}$$

$f_k$ : nilai sinyal EEG pada waktu ke-kkk (domain waktu),

N: jumlah total samp

$f_j$ : hasil transformasi frekuensi ke-jjj (domain frekuensi),

$w_N^{k_j} = e^{-2\pi i/N}$ : akar satuan kompleks yang disebut juga sebagai *twiddle factor*.

Persamaan ini menyatakan bahwa setiap komponen frekuensi  $f_j$  adalah hasil penjumlahan dari nilai-nilai sinyal waktu  $f_k$  yang dikalikan dengan eksponensial kompleks, yang berfungsi sebagai proyeksi terhadap basis frekuensi tertentu. Hasil dari transformasi ini adalah representasi sinyal dalam bentuk spektrum frekuensi, di mana masing-masing komponen menunjukkan kuatnya sinyal pada frekuensi tertentu.

Data gelombang otak yang dikumpulkan dapat digunakan untuk mendeteksi fase tidur, yaitu REM (Rapid Eye Movement) dan NREM (Non-Rapid Eye Movement). Fase tidur REM ditandai dengan aktivitas otak yang aktif, meskipun tubuh dalam keadaan tidur, dan memiliki frekuensi dominan pada gelombang Theta dan Beta. Sementara itu, fase tidur NREM menunjukkan aktivitas otak yang lebih tenang, tetapi juga didominasi oleh frekuensi gelombang Theta dan sebagian Beta. Identifikasi fase-fase tidur ini penting untuk menganalisis kualitas tidur dan mendeteksi gangguan seperti *sleep apnea* [36][37].

Tabel 2.4 Frekuensi Gelombang Otak

Fase Tidur	Frekuensi Dominan	Rentang Frekuensi
REM	Theta & Beta	4 – 30 Hz
NREM	Delta & Theta	0.1 – 7 Hz

### 2.2.2 Aktivitas Pernafasan

Data pernapasan dikumpulkan menggunakan sensor piezoelektrik, yang bekerja berdasarkan prinsip menghasilkan tegangan listrik ketika dikenai tekanan, seperti gerakan naik-turun dada saat bernapas. Data mentah (raw data) yang dihasilkan berupa sinyal listrik kemudian dikalibrasi untuk memperoleh nilai ambang batas (threshold) tertentu. Berdasarkan hasil kalibrasi, nilai sinyal yang berada di bawah 0.2103 Volt selama  $\geq 10$  detik diinterpretasikan sebagai indikasi terjadinya apnea, yaitu henti napas sementara selama tidur [38][39].

Tabel 2.5 Kategori Pernafasan

Kategori	Amplitudo Threshold
Nafas Normal	$\geq 0.5257$
Apnea	< 0.2103 selama $\geq 10$ detik

### 2.2.3 Kadar Oksigen dalam Darah ( $SpO_2$ ) dan Monitoring Heart Rate

Data saturasi oksigen dalam darah ( $SpO_2$ ) dan Monitoring Heart Rate dikumpulkan menggunakan sensor MAX30102, yang memiliki dua jenis LED, yaitu LED merah (red) dan LED inframerah (infrared). Dalam proses pendekripsi  $SpO_2$ , LED merah

berfungsi untuk mengambil sampel berdasarkan penyerapan cahaya. Nilai penyerapan ini mencerminkan kadar oksigen dalam darah. Data mentah yang diperoleh kemudian diolah dan disusun dalam bentuk tabel untuk membantu mengidentifikasi kondisi hypopnea, yaitu gangguan pernapasan ringan yang ditandai dengan penurunan kadar oksigen selama tidur [39].

Tabel 2.6 Kategori SpO<sub>2</sub> dan Detak Jantung

Kategori	Amplitudo Threshold
SpO <sub>2</sub> Normal	$\geq 95\%$
Hypopnea	Turun $\geq 3\%$ dari baseline nilai normal

### 2.3 Perangkat Keras

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan mengenai perangkat keras yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Perangkat keras yang digunakan meliputi beberapa komponen utama yang berperan penting dalam keseluruhan sistem.

#### 2.3.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah komputer mini yang berfungsi sebagai otak pengendali dalam aplikasi tertanam dan *Internet of Things* (IoT). Penyimpanannya menggunakan kartu SD yang berfungsi untuk sistem operasi dan data. Raspberry Pi memiliki performa yang handal untuk memproses berbagai data dalam jangka waktu panjang dengan konsumsi daya yang minimal. Performa optimal Raspberry Pi didukung oleh sistem operasi Raspbian, yang mampu menjalankan beberapa program secara bersamaan. Tantangan utama dalam sistem pemantauan *sleep apnea* adalah kemampuan menampung dan memproses data dari berbagai sensor. Raspberry Pi dengan kemampuannya untuk melakukan pemrosesan data secara simultan, menjadi solusi yang ideal. Selain itu, Raspberry Pi memiliki dukungan komunikasi yang baik dengan berbagai sensor, sehingga memungkinkan integrasi yang efisien dan pemantauan data secara *real-time* [40].

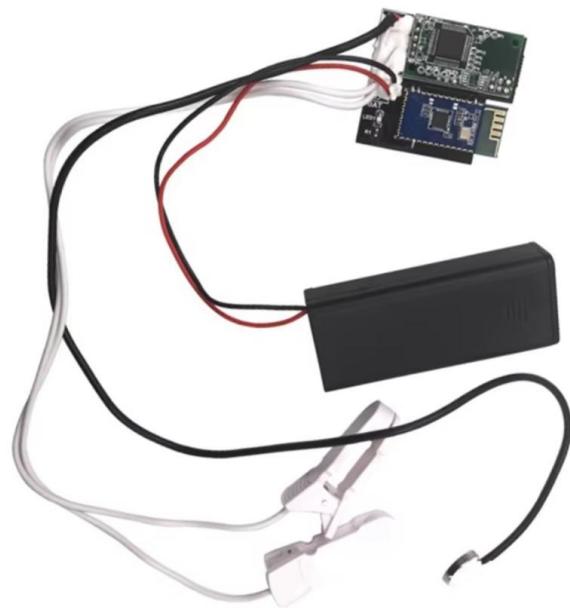


Gambar 2.3 Raspberry Pi

(Sumber: *Wikimedia* [41])

### 2.3.2 TGAM

TGAM merupakan sebuah antarmuka sensor sinyal biolistrik atau salah satu sensor biolistrik yang dapat mengukur gelombang otak manusia. TGAM merupakan sensor gelombang otak dari *NeuroSky* modul ASIC yang dirancang untuk aplikasi masal. Sensor ini dapat mengubah sinyal otak menjadi pesan, dimana orang tersebut berpikir kemudian mengubah pemikiran menjadi sinyal listrik dan dikirim ke prosesor untuk melakukan perintah tertentu yang dapat diaplikasikan pada aplikasi ponsel, aplikasi *windows*, serta dapat diaplikasikan untuk penggunaan medis dan teknologi. Menggunakan prinsip operasi yang cukup sederhana, dua sensor kering untuk mendeteksi dan menyaring sinyal EEG dengan *chip onboard* yang memproses semua informasi dan menyediakan data ini ke dalam bentuk digital. Ujung sensor TGAM mendeteksi sinyal listrik dari permukaan dahi manusia. Pada saat yang sama, sensor mengambil derau yang dihasilkan oleh otot manusia dan dari lingkungan sekitar. Sensor kedua adalah klip telinga yang terdiri dari pentahanan dan referensi, memungkinkan TGAM untuk menyaring derau. Data dari pengolahan sinyal gelombang otak dalam bentuk analog kemudian diproses dalam mikrokontroler agar dapat menghasilkan isyarat perintah [35].

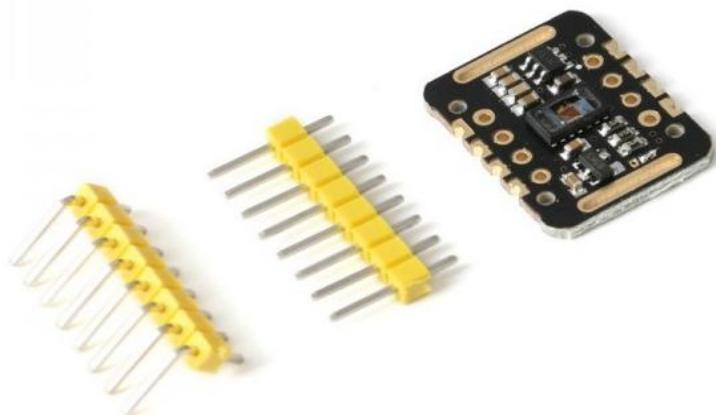


Gambar 2.4 Sensor TGAM

(Sumber: [Alicdn.com](#) [42])

### 2.3.3 Sensor MAX30102

Sensor MAX30102 merupakan produk dari Maxim Integrated yang merupakan penerus sensor MAX30100. Sensor ini memiliki dua panjang gelombang cahaya, yaitu 660 nm untuk merah dan 880 nm untuk inframerah. Dilengkapi dengan antarmuka I2C, MAX30102 mudah diintegrasikan dengan mikroprosesor dan digunakan dalam berbagai aplikasi medis seperti pemantauan kesehatan, kebugaran, dan perangkat medis lainnya. Sensor ini dirancang untuk mengukur kadar oksigen dalam darah (SpO<sub>2</sub>) dan detak jantung (BPM), dengan tampilan visual yang memungkinkan pemantauan jarak jauh tanpa kontak langsung dengan pasien. Teknologi ini meningkatkan efisiensi pemantauan kondisi pasien secara real-time. MAX30102 bekerja dengan memancarkan cahaya LED melalui jari, kemudian mengukur cahaya yang dipantulkan menggunakan fotodetektor, yang selanjutnya diubah menjadi sinyal listrik oleh amplifier untuk mendeteksi denyut pembuluh darah saat jantung berdetak [43].

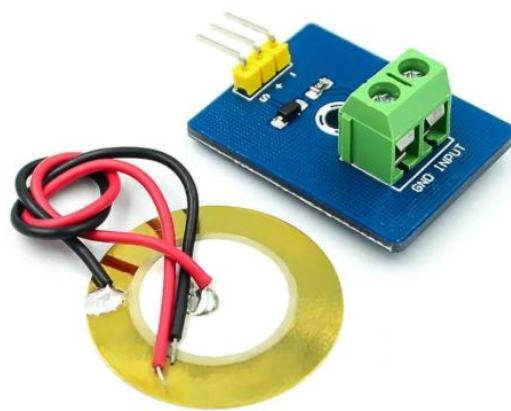


Gambar 2.5 Sensor MAX30102

(Sumber: [Digiwarestore.com](http://Digiwarestore.com) [44])

#### 2.3.4 Sensor Piezoelectric

Sensor piezoelektrik merupakan sensor yang dapat mengubah tekanan menjadi nilai tegangan. Sensor ini memiliki kelebihan diantaranya bentuk sensor yang kecil, dan penggunaannya yang mudah. Sensor ini juga sudah diterapkan untuk mendeteksi bahkan memonitoring nilai respirasi. Sistem pengukuran respirasi dari alat ini menggunakan sabuk yang diikatkan pada perut dan hasil nilai respirasi per menitnya ditampilkan pada PC melalui bluetooth [45].



Gambar 2.6 Sensor Piezoelectric

(Sumber: [Tokopedia.com](http://Tokopedia.com) [46])

### 2.3.5 Kabel Silikon

Kabel karet silikon adalah jenis kabel listrik yang diisolasi dan dilapisi dengan bahan karet silikon. Kabel ini dikenal memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, fleksibilitas yang baik, serta daya tahan tinggi terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Oleh karena itu, kabel ini sangat sesuai digunakan pada sistem sensor, terutama dalam aplikasi yang melibatkan suhu tinggi, getaran, atau paparan bahan kimia, seperti di bidang industri, otomotif, dan dirgantara [47].



Gambar 2.7 Kabel Silikon

(Sumber: [Alibaba.com](#) [48])

### 2.3.6 Kabel Jumper

Kabel jumper adalah kabel yang dipergunakan untuk menghubungkan satu komponen dengan komponen lain ataupun menghubungkan jalur rangkaian yang terputus pada breadboard [49].

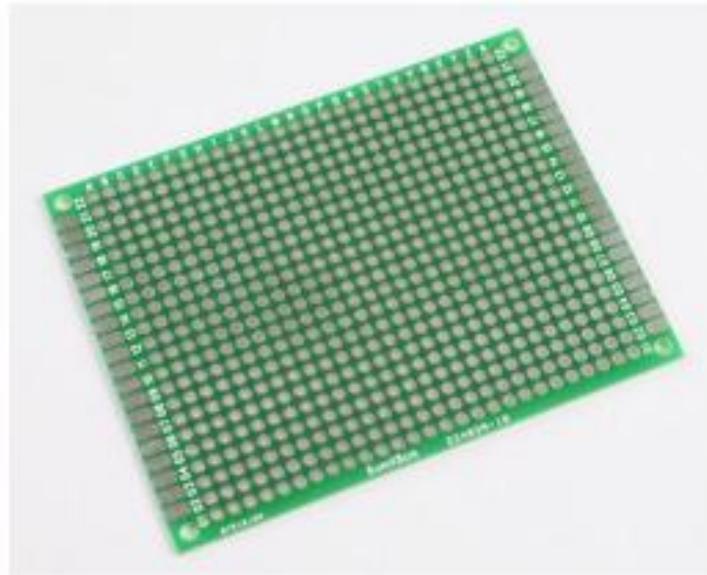


Gambar 2.8 Kabel Jumper

(Sumber: Starte [50])

### 2.3.7 PCB (Printed Circuit Board)

PCB adalah disebut dengan istilah papan sirkuit cetak atau papan rangkaian. PCB ini merupakan alat yang digunakan untuk menghubungkan kaki komponen satu sama lain baik kaki komponen aktif maupun pasif. Papan ini terdiri dari jalur tembaga yang tercetak di atas bahan isolator, seperti fiberglass, yang berfungsi sebagai pengganti kabel untuk menghantarkan sinyal listrik antar komponen. Dengan menggunakan PCB, rangkaian menjadi lebih rapi, terstruktur, dan mudah dalam proses perakitan maupun pemeliharaan. PCB juga membantu menjaga kestabilan sistem elektronik karena sambungan antar komponennya bersifat tetap dan tidak mudah lepas.s



Gambar 2.9 PCB  
(Sumber: Tokopedia.com [51])

## 2.4 Perangkat Lunak

Pada sub-bab ini, dijelaskan mengenai perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan Tugas Akhir. Perangkat lunak yang digunakan bertujuan untuk menghubungkan perangkat keras, memproses data, serta menampilkan hasil secara real-time.

### 2.4.1 MQTT

*Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) adalah protokol komunikasi yang dirancang untuk *machine-to-machine* (M2M) dan mampu mengirimkan data dengan efisien menggunakan arsitektur TCP/IP. Protokol ini menjamin pengiriman pesan meskipun koneksi terputus. MQTT menggunakan metode komunikasi *publish* dan *subscribe*, di mana pesan dari publisher dikirimkan ke broker dengan topik tertentu[52]. Broker kemudian memproses topik tersebut untuk diteruskan ke subscriber berdasarkan permintaan pengguna. MQTT broker berfungsi sebagai server yang akan menerima semua informasi dari client serta akan melakukan publish ke client yang mensubscribe jenis topik tertentu [53].



Gambar 2.10 MQTT

(Sumber: *Iotbyhvm* [54])

#### 2.4.2 Mosquitto

Mosquitto adalah sebuah broker pesan sumber terbuka (open-source message broker) yang mengimplementasikan protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Protokol MQTT sendiri adalah standar ISO untuk komunikasi mesin-ke-mesin (machine-to-machine) yang ringan dan sering digunakan dalam aplikasi Internet of Things (IoT). Mosquitto dirancang agar ringan dan efisien, cocok untuk berbagai perangkat, termasuk perangkat IoT dengan sumber daya terbatas.

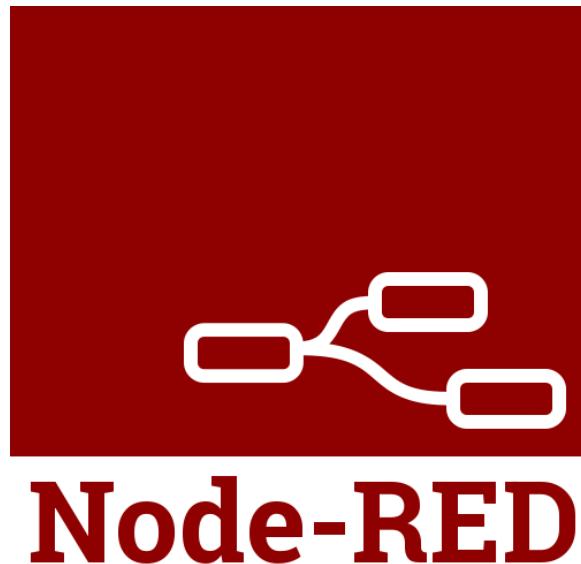


Gambar 2.11 Mosquitto

(Sumber: [boschrexroth.com](http://boschrexroth.com) [55])

### 2.4.3 Node-RED

Node-RED adalah alat pemrograman berbasis platform Node.js yang berfungsi menghubungkan perangkat keras, API, dan layanan lainnya. Aplikasi ini berjalan di server, termasuk Raspberry Pi, yang dapat diatur sebagai server untuk melayani perangkat yang terhubung. Salah satu protokol komunikasi yang digunakan pada Raspberry Pi adalah MQTT, protokol ringan berbasis TCP/IP yang dirancang untuk komunikasi machine-to-machine (M2M). MQTT memungkinkan perangkat tanpa alamat khusus, seperti Raspberry Pi atau perangkat IoT lainnya, untuk bertukar data dengan efisien. Dalam implementasi ini, Node-RED digunakan untuk mengelola logika pemrosesan data, seperti memasukkan objek JSON ke dalam basis data MySQL [56].



Gambar 2.12 Node-RED

(Sumber: Wikipedia.org [57])

### 2.4.4 Laravel

Laravel merupakan kerangka kerja *open source* yang dirancang untuk mempercepat dan mempermudah proses pembangunan aplikasi web, termasuk di bidang kesehatan. Laravel dilengkapi dengan berbagai fitur seperti bundle, sistem migrasi database, serta Artisan CLI (Command Line Interface) yang memudahkan pengelolaan proyek. Framework ini mengadopsi keunggulan dari berbagai kerangka kerja lain seperti CodeIgniter, Yii, ASP.NET MVC, Ruby on Rails, dan

Sinatra, sehingga sangat cocok digunakan dalam pengembangan sistem informasi kesehatan yang kompleks dan membutuhkan struktur yang kuat dan efisien. Laravel memiliki sejumlah keunggulan yang membuatnya lebih unggul dibandingkan framework lainnya. Beberapa kelebihan Laravel antara lain: kinerja yang lebih optimal, proses pemutuan data yang stabil, sistem keamanan data yang andal, serta dukungan fitur modern seperti Blade Template Engine yang menerapkan konsep HMVC (Hierarchical Model View Controller). Selain itu, Laravel juga menyediakan berbagai pustaka siap pakai dan fitur migration yang memudahkan dalam pembuatan serta pengelolaan struktur tabel pada basis data [58].



Gambar 2.13 Laravel

(Sumber: [Google.com](https://www.google.com) [59])

#### 2.4.5 Database

Database adalah tempat penyimpanan data yang di integrasikan pada website yang berguna untuk menampilkan data terbaru dan data yang sudah lewat. Tipe database dibagi menjadi 2 yaitu database relasional dan non-relasional contoh database relasional seperti MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server dan contoh yang non relasional InfluxDB, MongoDB, Redis. Untuk sistem pemantauan yang berbasis kesehatan perlukan relasi antar pasien, data sensor, dan dokter sehingga diperlukan database bertipe relasional seperti MySQL agar integritas datanya sudah teruji dengan baik.



Gambar 2.14 MySQL

(Sumber: Wikipedia.org [60])

#### 2.4.6 Website

*Website* atau *Web* adalah media yang menyediakan kumpulan informasi yang halamannya saling terhubung untuk menampilkan informasi sesuai dengan kebutuhan penggunanya. *Website* akan berguna untuk menyediakan hasil pemantauan dari pemeriksaan *sleep apnea* serta informasi dapat disimpan pada jangka waktu yang panjang sehingga pengguna dapat melihat perbedaan hasil pemantauan secara berkala [61].



Gambar 2.15 Website

(Sumber: Mediaheroes.com [62])

#### 2.4.7 Website

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan menyusun sketch program, atau dengan kata lain berfungsi sebagai media pemrograman bagi board Arduino. Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, melakukan coding, serta mengunggah program ke *board* yang telah ditentukan. Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan bahasa

pemrograman Java dan dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*), yang mempermudah proses operasi input dan output pada perangkat keras. Arduino IDE memiliki kemampuan untuk memodelkan berbagai desain rangkaian, menguji rangkaian dengan variasi komponen yang berbeda, serta mengevaluasi karakteristik keseluruhan rangkaian melalui analisis AC/DC atau *transient* [63].



Gambar 2.16 Arduino IDE

(Sumber: [Arduino.com](http://Arduino.com) [64])

## 2.5 Penelitian Terkait

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai jurnal yang terkait dengan sistem yang akan dibangun. Berikut jurnal yang terkait dengan sistem yang akan dibangun.

### 2.5.1 Pengembangan Sistem Pemantauan *Sleep Apnea* Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan

Dalam pengembangan alat untuk memantau *sleep apnea* berbasis IoT, artikel ini membahas penggunaan empat parameter utama untuk pendekripsi. Pertama, detak jantung pasien dideteksi menggunakan sensor AD8232 yang dapat menghitung detak jantung per menit. Kedua, suara dengkuran pasien saat tidur dipantau menggunakan sensor mikrofon yang mengukur tingkat desibel (dB) untuk menentukan frekuensi dengkuran. Ketiga, kadar oksigen dalam darah dipantau menggunakan sensor SpO<sub>2</sub>, yang dapat mendekripsi penurunan kadar oksigen ketika terjadi gejala *sleep apnea*. Terakhir, kondisi emosional pasien dipantau menggunakan sensor Galvanic Skin Response (GSR), yang mendekripsi aktivitas kelenjar keringat melalui dua elektroda yang ditempatkan pada jari tengah dan jari

manis. Sistem ini bekerja dengan cara memasang alat pada tubuh pasien, kemudian sensor-sensor tersebut akan mengirimkan data ke aplikasi yang sesuai dengan kondisi pasien saat tidur. Pada akhirnya, pasien dapat memantau sendiri kondisi tidurnya. Namun, aplikasi tersebut belum dapat memberikan kesimpulan apakah pasien terindikasi *sleep apnea* atau tidak. Kesimpulannya, alat ini mampu berfungsi dengan baik untuk memantau kondisi tidur pasien. Namun, penulis artikel menyarankan agar faktor lingkungan, seperti kondisi ruangan tempat pasien tidur, juga dipantau karena dapat mempengaruhi kualitas tidur pasien [27].

### **2.5.2 Layanan Kesehatan IoT: Desain Sistem Pemantauan Kualitas Tidur yang Cerdas dan Hemat Biaya**

Dalam perancangan sistem pemantauan kualitas tidur berbasis IoT dengan biaya terjangkau, alat ini menawarkan solusi bagi pasien untuk memeriksa kualitas tidur secara mandiri dan mendeteksi gangguan tidur yang mungkin dialami. Sistem ini menggunakan tiga sensor utama: sensor akselerometer untuk mendeteksi pergerakan pasien saat tidur, sensor pulse oximeter untuk memantau detak jantung dan kadar oksigen dalam darah, serta sensor mikrofon untuk mendeteksi dengkuran pasien. Ketiga sensor ini mengirimkan empat parameter ke aplikasi yang dapat diteruskan kepada dokter, sehingga pasien bisa mengetahui kondisi tidurnya. Sistem ini memungkinkan pasien untuk memantau kualitas tidur secara efisien dan hemat biaya di rumah. Namun, penelitian ini tidak difokuskan pada satu jenis gangguan tidur secara spesifik, alat ini juga masih memerlukan kabel dalam operasionalnya. Penggunaan mikrokontroler, seperti Raspberry Pi, disarankan untuk menggantikan perangkat yang ada guna mendukung komunikasi yang lebih baik antara sensor, mikrokontroler, dan aplikasi, sehingga hasil yang ditampilkan lebih optimal [65].

### **2.5.3 Perangkat Perawatan Tidur yang Dapat Dipakai: Analisis dan Pencegahan Gejala Apnea Tidur Secara Real-Time**

Dalam artikel ini membahas dua alat yang digabungkan menjadi satu untuk menganalisa dan melakukan pencegahan terhadap *sleep apnea* secara *real-time*. Dua teknologi yang digunakan adalah PAAR dan Bio-Cradle dengan konsep *hot-*

*plug* yang artinya sensor dapat digunakan sesuai kebutuhan hanya menggunakan port yang ada untuk menggunakan sensor yang digunakan, alat ini memiliki empat sensor yaitu sensor pernafasan yang dapat menghitung rata-rata pernafasan pasien ketika tidur, sensor pulse oximeter untuk mendeteksi detak jantung per menit dan kadar oksigen dalam darah, dan sensor akselerator untuk memantau gerak postur pasien ketika tidur. Dengan alat ini pasien akan mendapat pencegahan dini ketika kondisi dari empat parameter terjadi membahayakan dan akan mengirimkan peringatan ke speaker pintar agar dapat pencegahan secara langsung. Alat ini sangat nyaman untuk digunakan pasien, namun pencegahan gangguan tidurnya masih mengganggu tidur pasien [66].

#### **2.5.4 Sistem Cerdas Polisomnografi Nirkabel Berbasis IoT untuk Pemantauan Tidur**

Dalam artikel ini, peneliti menggunakan sebuah alat yang disebut *portable biosignal acquisition unit* untuk melakukan pemeriksaan *polysomnography* berbasis IoT. Alat ini mencakup beberapa pemeriksaan, termasuk: pemeriksaan gelombang otak yang dilakukan dengan menempelkan elektroda di kepala pasien, pemeriksaan gerakan mata dengan elektroda yang ditempelkan di sekitar mata, pemeriksaan aktivitas otot dengan menempelkan elektroda di area bawah mulut, serta pemeriksaan pola pernapasan menggunakan sensor yang ditempatkan di area hidung untuk menghitung frekuensi pernapasan pasien. Sistem ini juga dilengkapi dengan kemampuan untuk memantau sinyal dari berbagai parameter tersebut, dengan hasil yang dapat dikirim langsung kepada dokter untuk analisis lebih lanjut. Kesimpulannya, alat ini dapat berfungsi dengan baik untuk pemeriksaan *polysomnography*. Namun, pasien kesulitan memahami hasilnya karena tampilan data di sistem hanya berbentuk sinyal mentah. Ke depannya, alat ini akan dirancang agar lebih mendekati standar pemeriksaan *polysomnography*, dengan fokus pada penggunaan parameter-parameter yang paling penting saja [26].

### 2.5.5 Klasifikasi Apnea Tidur Obstruktif yang Efisien Berdasarkan Sinyal EEG

Dalam artikel ini, peneliti melakukan klasifikasi pada sinyal gelombang otak untuk mendeteksi *sleep apnea* menggunakan empat metode: *Support Vector Machine* (SVM), *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Artificial Neural Network* (ANN), dan *Naive Bayes* (NB). Langkah pertama adalah memfilter sinyal gelombang otak menggunakan teknik *Butterworth*. Selanjutnya, sinyal melalui proses *Decomposition*, yang memisahkan sinyal berdasarkan frekuensi dan waktu. Untuk keperluan klasifikasi, dilakukan *feature extraction* guna menghasilkan nilai-nilai informasi yang akan menjadi input bagi metode klasifikasi. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode klasifikasi terbaik adalah SVM, meskipun metode lainnya, seperti LDA, ANN, dan NB, juga memberikan hasil yang baik. Oleh karena itu, penelitian ini berhasil mengidentifikasi metode klasifikasi yang paling efisien untuk mendeteksi *sleep apnea* dari sinyal gelombang otak, yang dapat diterapkan pada sistem embedded. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada satu parameter, yaitu sinyal gelombang otak, untuk mendeteksi *sleep apnea* [67].

## 2.6 Estimasi Biaya Penelitian

Tabel 2.7 Estimasi Biaya Penelitian

No	Nama Barang	Jumlah	Harga @unit	Referensi Harga	Total
1	Raspberry pi 4 ram 4GB	1	Rp.1.200.000	<a href="https://tokopedia.link/MERWwdir0Mb">https://tokopedia.link/MERWwdir0Mb</a>	Rp.1.200.000
2	Brainwave EEG Sensor	1	Rp.1.897.500	<a href="https://tokopedia.link/JvLT6zrr0Mb">https://tokopedia.link/JvLT6zrr0Mb</a>	Rp.1.897.500
3	MAX30102 Sensor Pulse Oximeter dan Detak Jantung	1	Rp.18.950	<a href="https://tokopedia.link/byICS4Jr0Mb">https://tokopedia.link/byICS4Jr0Mb</a>	Rp.18.950

No	Nama Barang	Jumlah	Harga @unit	Referensi Harga	Total
4	Sensor Piezoelectric	1	Rp.96.000	<a href="https://tokopedia.link/FfFs5U9r0Mb">https://tokopedia.link/FfFs5U9r0Mb</a>	Rp.96.000
5	Ongkir		Rp.50.000		Rp.50.000
<b>Total Biaya</b>					<b>3.176.050</b>

## **BAB III**

### **ANALISIS DAN PERANCANGAN**

Pada bab ini diuraikan analisis terhadap sistem yang akan dibangun. Berdasarkan hasil analisis, dapat dirancang target sistem yang sesuai dengan pandangan dari studi literatur.

#### **3.1 Analisis**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis masalah, analisis pemecahan terhadap masalah tersebut dan analisis kebutuhan sistem yang dibagi menjadi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Analisis dan perancangan sistem dalam Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut.

##### **3.1.1 Analisis Masalah**

Tidur yang berkualitas sangat penting untuk menjaga kesehatan fisik dan mental. Namun, banyak orang terutama lansia sering mengalami gangguan tidur, salah satunya adalah obstructive *sleep apnea* (OSA). OSA terjadi ketika saluran pernapasan tersumbat saat tidur, menyebabkan pernapasan terganggu. Kondisi ini membuat penderita sering terbangun tanpa disadari dan merasa lelah ketika bangun tidur. Gangguan ini jika tidak ditangani dapat meningkatkan risiko penyakit serius seperti hipertensi, penyakit jantung, dan stroke.

Saat ini, metode yang paling umum digunakan untuk mendiagnosis OSA adalah Polysomnography (PSG). Metode ini dilakukan di rumah sakit dengan memantau berbagai aktivitas tubuh seperti detak jantung, gelombang otak, pola pernapasan, dan kadar oksigen dalam darah selama tidur. Meskipun akurat, pemeriksaan PSG memerlukan biaya yang besar dan tidak semua orang memiliki akses mudah ke fasilitas kesehatan yang menyediakan layanan ini.

Untuk mengatasi masalah ini, teknologi berbasis Internet of Things (IoT) bisa menjadi solusi yang efektif. Dengan memanfaatkan IoT, perangkat yang digunakan untuk memantau kondisi pasien dapat dihubungkan secara real-time ke internet, memungkinkan pemeriksaan dilakukan dari jarak jauh. Ini membuka peluang bagi pasien untuk memantau kondisi tidur mereka di rumah dengan alat yang lebih

terjangkau dan mudah digunakan, sehingga deteksi dini OSA bisa dilakukan lebih cepat dan efisien tanpa harus selalu bergantung pada rumah sakit.

### **3.1.2 Analisis Pemecahan Masalah**

Berdasarkan analisis masalah yang telah diuraikan, masalah sulitnya akses dan tingginya biaya diagnosis *obstructive sleep apnea* (OSA) pada metode konvensional Polysomnography (PSG) dapat diatasi dengan menggunakan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Teknologi ini berperan sebagai solusi yang memungkinkan pemantauan kondisi tidur pasien secara real-time di rumah, tanpa memerlukan pemeriksaan langsung di rumah sakit. Sistem ini memanfaatkan sensor-sensor untuk memantau parameter utama, seperti detak jantung, pernapasan, gelombang otak (EEG), dan kadar oksigen dalam darah, yang diintegrasikan dalam satu perangkat IoT. Data yang dihasilkan dari perangkat ini dikirimkan secara langsung ke perangkat pintar atau dapat diakses oleh tenaga medis untuk kebutuhan diagnosis.

Dalam penerapannya, perangkat IoT ini harus dirancang dengan interface yang mudah digunakan, terutama untuk memenuhi kebutuhan kelompok lansia yang rentan terhadap OSA. Sistem ini akan bekerja dengan mengumpulkan data biometrik selama pasien tidur dan mengirimkan data tersebut ke server yang aman. Data yang terkumpul kemudian dapat disimpan dan diolah lebih lanjut untuk analisis jangka panjang, sehingga memungkinkan tenaga medis untuk melakukan evaluasi kondisi pasien secara lebih mendetail. Selain itu, penggunaan perangkat berbasis IoT juga memberikan kemandirian lebih bagi pasien dalam memantau kesehatan pasien, serta mengurangi frekuensi kunjungan ke fasilitas kesehatan.

Untuk memastikan kualitas dan keandalan sistem, implementasi perangkat IoT untuk monitoring OSA harus melalui proses uji coba dalam berbagai kondisi dan skenario penggunaannya. Proses ini melibatkan pengujian akurasi dan responsivitas perangkat dalam mendeteksi gangguan pernapasan secara real-time. Dengan evaluasi kinerja yang terus dilakukan, solusi berbasis IoT ini diharapkan mampu menjadi alternatif yang lebih terjangkau dan efisien untuk mendeteksi OSA, membantu meningkatkan akses layanan kesehatan terutama bagi pasien lansia, serta

mendukung upaya deteksi dini OSA tanpa sepenuhnya bergantung pada fasilitas rumah sakit.

### **3.1.3 Analisis Kebutuhan Sistem**

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai kebutuhan yang diperlukan selama proses Implementasi Sistem Monitoring *Sleep Apnea* Berbasis IoT untuk Aplikasi Kesehatan. Kebutuhan mencakup kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan kebutuhan perangkat lunak (*software*).

#### **3.1.3.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras**

Perangkat keras adalah komponen-komponen penting untuk kegiatan analisis dan implementasi yang dibutuhkan dalam pengembangan sistem yang akan dibuat untuk pengerjaan Tugas Akhir. Spesifikasi perangkat keras yang diperlukan untuk mendukung implementasi pada sistem yang akan dikembangkan mencakup hal-hal berikut.

Tabel 3.1 Kebutuhan Perangkat Keras

<b>Nama Perangkat</b>	<b>Spesifikasi</b>	<b>Keterangan</b>
Laptop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem Operasi: Windows 10</li> <li>• Processor: Intel(R)</li> <li>• RAM: 8GB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyusun dokumen Tugas Akhir</li> <li>• Membuat dan menguji kode program sistem yang dikembangkan</li> <li>• Menginstall Server MQTT serta perangkat lunak pendukung lain</li> <li>• Melakukan simulasi dan analisis sistem IoT yang dirancang.</li> </ul>

Nama Perangkat	Spesifikasi	Keterangan
Raspberry pi 4 ram 4GB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz</li> <li>• RAM 1/2/4/8GB</li> <li>• OpenGL ES 3.0 graphics</li> <li>• 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless,</li> <li>• Bluetooth 5.0 BLE</li> <li>• Gigabit Ethernet</li> <li>• 2 USB 3.0 ports; 2 USB 2.0 ports.</li> <li>• 40 pin GPIO</li> <li>• Dual display 2 × micro-HDMI ports</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemrosesan Data: Raspberry mengumpulkan dan memproses data dari sensor seperti EEG, detak jantung, dan SpO2 untuk analisis lebih lanjut.</li> <li>• Penyimpanan Data: Raspberry Pi menyimpan sementara data sensor yang dikumpulkan sebelum diproses atau dikirim ke server.</li> <li>• Menjalankan Aplikasi: Raspberry Pi menjalankan aplikasi seperti server MQTT dan sistem monitoring untuk kontrol dan visualisasi data.</li> <li>• Antarmuka Pengguna: Raspberry Pi dapat mengendalikan layar untuk menampilkan hasil pemantauan dan memberikan peringatan atau alarm.</li> </ul>

Nama Perangkat	Spesifikasi	Keterangan
Brainwave EEG Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sampling Rate: 512 Hz.</li> <li>• Frekuensi: 3 - 100 Hz.</li> <li>• Output: Data mentah (Raw EEG) dan analisis gelombang otak (Alpha, Beta, Delta, Theta, Gamma).</li> <li>• Konsumsi Daya: 15 mA @ 3,3V, tegangan 2,97V - 3,63V.</li> <li>• Dimensi: 2,79 cm x 1,52 cm x 0,25 cm; berat 130 mg.</li> <li>• Proteksi: ESD 4kV (Contact) / 8kV (Air).</li> <li>• Antarmuka UART: 1200, 9600, 57600 baud.</li> <li>• Fitur: Deteksi <i>Attention</i>, <i>Meditation</i>, dan <i>Poor Signal Quality</i>.</li> <li>• Noise Filter: 50 Hz / 60 Hz.</li> </ul>	<p>EEG adalah tes yang digunakan untuk mendeteksi gangguan pada aktivitas listrik di otak. Selama pemeriksaan, elektroda dipasang pada kulit kepala untuk memantau gelombang otak secara langsung.</p>

Nama Perangkat	Spesifikasi	Keterangan
TGAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frekuensi: Rentang 3-100 Hz.</li> <li>• Sampling Rate: 512 bit per detik</li> <li>• Tegangan Operasi: 2,97V - 3,63V.</li> <li>• Konsumsi Daya Maksimum: 15 mA @ 3,3V.</li> <li>• Dimensi: 2,79 cm x 1,52 cm x 0,25 cm.</li> <li>• Berat: 130 mg.</li> <li>• Proteksi ESD:</li> <li>• 4kV (Contact Discharge).</li> <li>• 8kV (Air Discharge).</li> <li>• Output: Data EEG mentah (raw EEG) pada 512 bps.</li> <li>• Antarmuka Serial (UART):</li> <li>• Baud Rate: 1200, 9600, 57600.</li> <li>• Data Format: 8-bit, paritas None, 1 stop bit.</li> <li>• Opsi Filter Noise AC: 50 Hz atau 60 Hz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menghubungkan langsung ke elektroda kering.</li> <li>• Memproses sinyal EEG dari tiga kontak utama: EEG, REF, dan GND.</li> <li>• Memberikan peringatan kualitas sinyal buruk ("Poor Signal Quality").</li> <li>• Memiliki teknologi pemrosesan tingkat lanjut dengan ketahanan tinggi terhadap gangguan noise.</li> <li>• Menggunakan daya rendah, cocok untuk perangkat bertenaga baterai.</li> </ul>

Nama Perangkat	Spesifikasi	Keterangan
Sensor Piezoelectric	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tegangan masukan: 3,3V hingga 5V</li> <li>• Sinyal keluaran: sinyal TTL, aktif rendah</li> <li>• Rentang frekuensi pulsa: 0 hingga 100Hz</li> <li>• Kisaran RPM: 0 hingga 6000RPM</li> <li>• Dimensi: 32x14x7mm</li> <li>• Berat: 5g</li> </ul>	Sensor Piezoelectric digunakan untuk menangkap suara dan akan dijadikan inputan, dan bekerja dengan mengubah gelombang suara menjadi energi listrik.

### 3.1.3.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak

Dalam membangun Implementasi sistem monitoring *sleep apnea* berbasis IoT yang ditujukan untuk aplikasi kesehatan, diperlukan perangkat lunak dengan spesifikasi yang mendukung pengolahan data secara real-time dan pemantauan kondisi pasien secara akurat. Detail spesifikasi perangkat lunak yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat Lunak	Keterangan
MQTT	MQTT adalah protokol pesan berbasis standar yang digunakan untuk komunikasi antar mesin. Sensor pintar, perangkat wearable, dan perangkat Internet of Things (IoT) lainnya sering kali perlu mengirim dan menerima data melalui jaringan dengan keterbatasan sumber daya dan bandwidth. Oleh karena itu, perangkat IoT ini menggunakan MQTT untuk transmisi data

Perangkat Lunak	Keterangan
	karena protokol ini mudah diterapkan dan memungkinkan komunikasi data IoT yang efisien.
VMWare	VMWare Perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan mesin virtual adalah ubuntu, yang berfungsi untuk mengoperasikan MQTT, memungkinkan komunikasi data yang efisien antara perangkat IoT dalam lingkungan virtual.
Node-RED	Node-RED memfasilitasi sistem monitoring <i>sleep apnea</i> berbasis IoT dengan mengintegrasikan data dari sensor (EEG, oksimeter, detak jantung) untuk deteksi real-time. Data diproses dan ditampilkan di dashboard, memudahkan pemantauan oleh dokter. Jika terdeteksi <i>sleep apnea</i> , Node-RED mengirimkan notifikasi otomatis, meningkatkan efisiensi pemantauan kesehatan jarak jauh.
MySQL	MySQL digunakan dalam sistem monitoring <i>sleep apnea</i> berbasis IoT untuk menyimpan dan mengelola data pasien secara efisien. Database ini mengumpulkan data real-time dari berbagai sensor seperti EEG, oksimeter, detak jantung, dan respirasi, memungkinkan penyimpanan data historis yang dapat diakses dokter untuk analisis lebih mendalam. Hal ini membantu dokter dalam mengidentifikasi pola gangguan pernapasan pada pasien. MySQL juga mendukung pengambilan data yang cepat untuk ditampilkan di dashboard monitoring, memfasilitasi analisis tren jangka panjang dan membantu pengambilan keputusan medis yang lebih tepat.
Arduino IDE	<i>Arduino IDE</i> adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman.

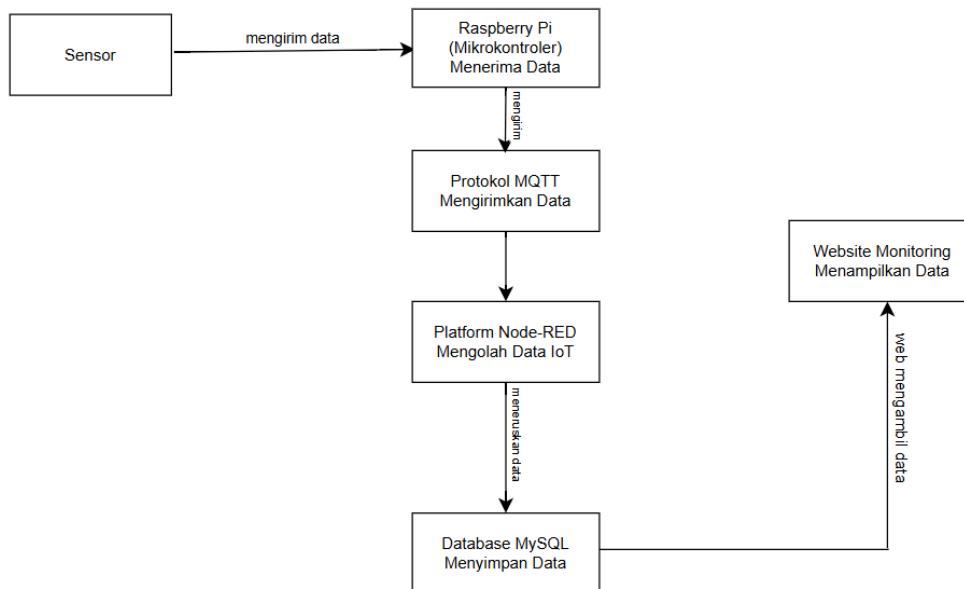
Perangkat Lunak	Keterangan
Visual Studio Code	<i>Visual Studio Code</i> adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pemrograman web.

### 3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menggabungkan berbagai komponen perangkat keras dan lunak guna memantau kondisi pasien *sleep apnea* secara real-time. Sistem ini dirancang agar mampu mengukur empat parameter utama yaitu gelombang otak, detak jantung, kadar oksigen dalam darah, dan laju pernapasan. Data dari sensor dikirimkan ke Raspberry Pi, kemudian diproses dan disimpan di database untuk ditampilkan melalui antarmuka website.

#### 3.2.1 Sistem Arsitektur

Sistem Arsitektur yang digunakan dalam pengembangan proyek ini dijelaskan pada sub bab berikut. Sistem yang dibangun merupakan tahap awal perancangan hardware dan software untuk membangun sistem pemberian oksigen otomatis berbasis IoT berdasarkan pengaturan tenaga medis. Desain sistem berbasis IoT akan dijelaskan pada gambar berikut.

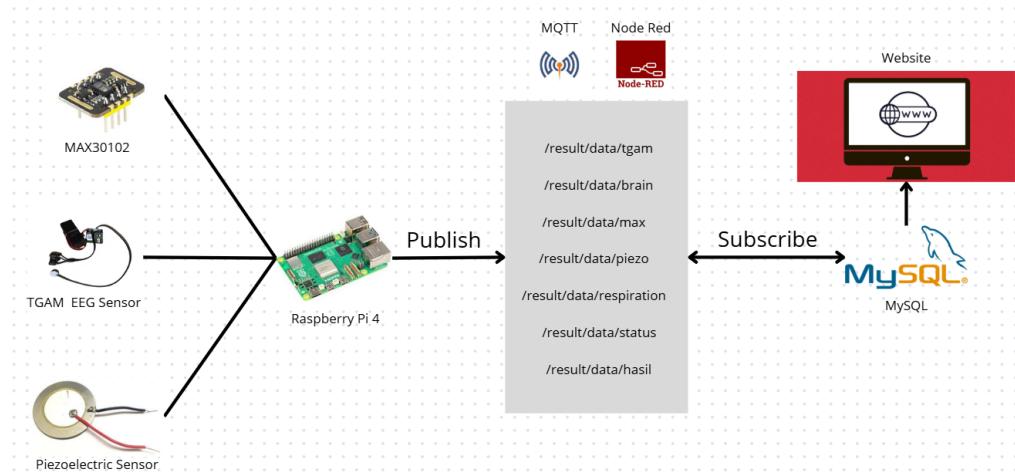


Gambar 3.1 Diagram Alur Sistem

Diagram pada Gambar menunjukkan alur sistem dalam proses pengolahan data monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Data dari sensor dikirimkan ke Raspberry Pi yang berperan sebagai mikrokontroler utama untuk menerima input. Selanjutnya, data dikirim melalui protokol komunikasi MQTT yang mendukung transfer data ringan dan efisien. Data tersebut kemudian diolah menggunakan platform Node-RED untuk selanjutnya disimpan ke dalam basis data MySQL. Website monitoring akan mengambil data dari basis data tersebut secara berkala dan menampilkannya dalam bentuk antarmuka visual. Alur ini memungkinkan pemantauan data secara real-time dan terstruktur.

### 3.2.2 Desain Komunikasi Sistem

Desain perangkat keras ini akan memberikan gambaran mengenai rangkaian dalam sistem monitoring *sleep apnea* berbasis IoT. Gambaran tersebut akan menjelaskan mengenai proses kerja rangkaian yang terlibat dalam implementasi sistem monitoring untuk aplikasi kesehatan ini.

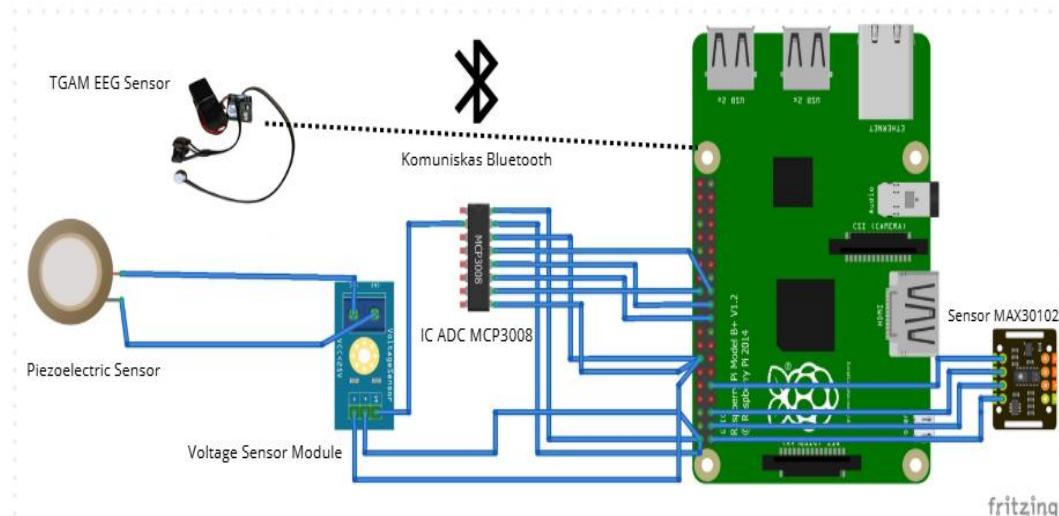


Gambar 3.2 Arsitektur Sistem

Gambar tersebut menggambarkan arsitektur sistem pemantauan kesehatan berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan beberapa sensor fisiologis. Sensor yang digunakan meliputi MAX30102 untuk mengukur detak jantung dan kadar oksigen dalam darah, TGAM EEG Sensor untuk mendeteksi aktivitas gelombang otak, serta sensor piezoelektrik untuk memantau laju pernapasan. Ketiga sensor tersebut terhubung ke unit pemrosesan pusat berupa Raspberry Pi 4 yang bertugas

mengakuisisi dan mengolah data. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim (publish) melalui protokol MQTT ke sejumlah topik yang telah ditentukan, seperti /result/data/tgam, /result/data/max, dan /result/data/respiration. Node-RED digunakan untuk mengelola aliran data dari MQTT serta meneruskannya ke basis data MySQL. Data yang tersimpan dapat diakses dan ditampilkan melalui antarmuka web untuk kebutuhan monitoring secara real-time. Dengan arsitektur ini, sistem memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara efisien dan terintegrasi dari jarak jauh.

### 3.2.3 Desain Sistem

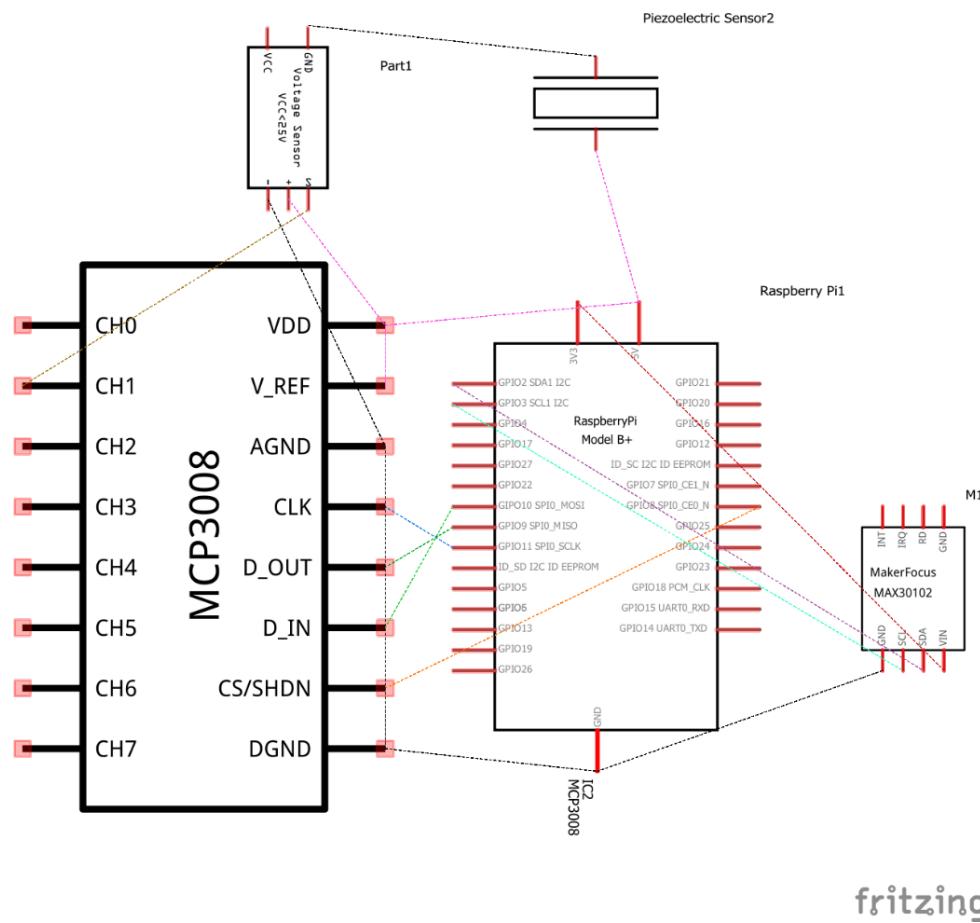


Gambar 3.3 Rancangan Sistem

Gambar tersebut memperlihatkan rancangan sistem pemantauan tidur berbasis Raspberry Pi yang mengintegrasikan tiga jenis sensor, yaitu TGAM EEG Sensor, Piezoelectric Sensor, dan MAX30102. TGAM EEG Sensor digunakan untuk membaca aktivitas gelombang otak dan terhubung ke Raspberry Pi melalui komunikasi nirkabel Bluetooth, sehingga tidak memerlukan koneksi kabel langsung. Sementara itu, Piezoelectric Sensor digunakan untuk mendeteksi laju pernapasan. Sensor ini menghasilkan sinyal analog yang terlebih dahulu diperkuat menggunakan modul Voltage Sensor, kemudian dikirim ke IC ADC MCP3008 untuk dikonversi menjadi sinyal digital. IC MCP3008 ini berfungsi sebagai konverter analog-ke-digital karena Raspberry Pi tidak memiliki pin input analog bawaan. Modul MCP3008 terhubung ke Raspberry Pi melalui jalur komunikasi SPI dengan koneksi pada beberapa pin GPIO, termasuk VCC, GND, DIN, DOUT,

CLK, dan CS. Selanjutnya, sensor MAX30102 digunakan untuk membaca detak jantung dan kadar oksigen dalam darah, dan dihubungkan ke Raspberry Pi menggunakan antarmuka komunikasi I2C, yang terlihat dari koneksi langsung ke pin SDA dan SCL. Seluruh data yang diperoleh dari ketiga sensor tersebut akan diproses oleh Raspberry Pi dan dapat dikirim ke sistem monitoring untuk keperluan analisis maupun penyimpanan data. Rangkaian ini menunjukkan integrasi yang efisien antara sensor analog dan digital dalam satu sistem berbasis IoT.

### 3.2.4 Rangkaian Skematik Sistem



Gambar 3.4 Rancangan Skematik Sistem

Gambar tersebut menunjukkan rangkaian perangkat keras sistem pemantauan kesehatan berbasis Raspberry Pi yang mengintegrasikan sensor piezoelektrik, modul ADC MCP3008, dan sensor denyut jantung serta oksigen darah MAX30102. Sensor piezoelektrik digunakan untuk mendeteksi laju pernapasan dengan menghasilkan sinyal analog. Sinyal tersebut diperkuat terlebih dahulu

menggunakan *voltage sensor module*, kemudian diteruskan ke pin CH0 pada IC MCP3008 untuk dikonversi menjadi sinyal digital. Konversi ini diperlukan karena Raspberry Pi tidak memiliki kemampuan untuk membaca sinyal analog secara langsung.

IC MCP3008 merupakan ADC (Analog to Digital Converter) 10-bit yang berkomunikasi dengan Raspberry Pi menggunakan protokol SPI (Serial Peripheral Interface). Beberapa pin penting pada MCP3008 yang digunakan dalam rangkaian ini antara lain: VDD dan V\_REF yang dihubungkan ke pin 3.3V Raspberry Pi sebagai catu daya dan referensi tegangan; AGND dan DGND dihubungkan ke ground; CLK dihubungkan ke pin GPIO11 (SPI0\_SCLK); D\_OUT ke GPIO9 (SPI0\_MISO); D\_IN ke GPIO10 (SPI0\_MOSI); dan CS/SHDN ke GPIO8 (SPI0\_CE0\_N) yang berfungsi sebagai *chip select*.

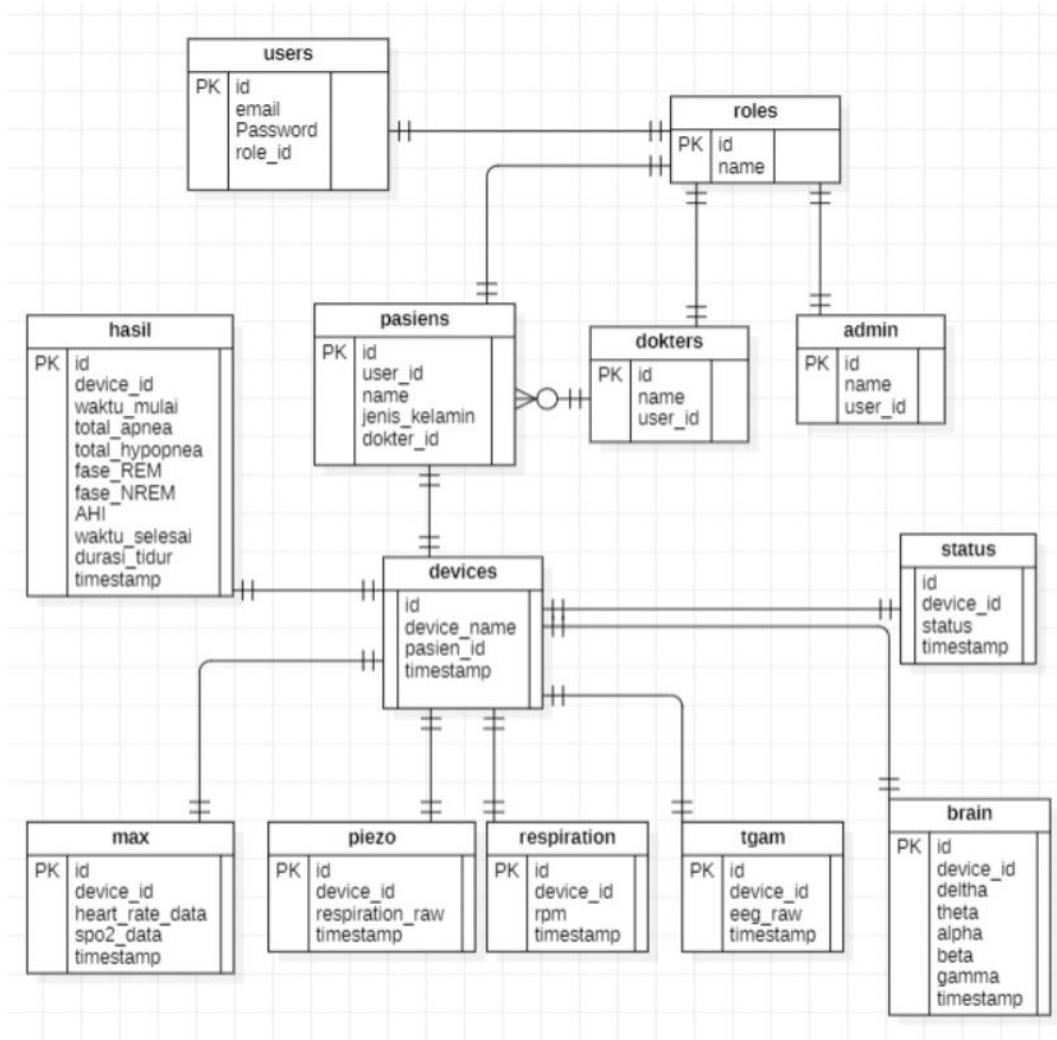
Selanjutnya, sensor MAX30102 berfungsi untuk mengukur denyut jantung dan kadar oksigen dalam darah ( $\text{SpO}_2$ ) dengan menggunakan antarmuka komunikasi I<sup>2</sup>C. Pada sensor ini, pin VIN dihubungkan ke 3.3V, GND ke ground, SCL ke GPIO3 (SCL1), dan SDA ke GPIO2 (SDA1) pada Raspberry Pi. Selain itu, pin INT pada sensor dapat digunakan untuk interupsi, namun bersifat opsional tergantung implementasi perangkat lunak.

Secara keseluruhan, data dari sensor piezoelektrik diolah melalui konversi ADC terlebih dahulu sebelum dibaca oleh Raspberry Pi, sedangkan data dari sensor MAX30102 langsung diterima melalui jalur I<sup>2</sup>C. Seluruh proses pengambilan dan pengolahan data dilakukan oleh Raspberry Pi sebagai pusat kendali, sehingga sistem ini memungkinkan penggabungan sensor analog dan digital dalam satu sistem monitoring yang terintegrasi dan efisien.

### 3.3 Model Data Konseptual Database Sistem

ERD (Entity-Relationship Diagram) ini menggambarkan struktur basis data sistem monitoring *sleep apnea* berbasis IoT. Diagram ini mencakup entitas seperti users, roles, pasiens, dokters, admin, device, dan hasil yang saling terhubung untuk mendukung pengelolaan data pengguna, perangkat IoT, dan hasil monitoring.

Hubungan antar-entitas memastikan data pasien, perangkat, dan hasil analisis *sleep apnea* dapat dikelola secara efisien dalam sistem.



Gambar 3.5 Model Data Konseptual Website

Gambar di atas menunjukkan Entity Relationship Diagram (ERD) dari sistem monitoring kesehatan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk mengelola data pengguna, pasien, perangkat, serta hasil dan data fisiologis yang diperoleh dari sensor. Sistem ini terdiri atas beberapa entitas utama, yaitu users, roles, admin, dokters, pasiens, devices, status, hasil, dan entitas data sensor seperti max, piezo, respiration, tgam, dan brain.

Entitas users menyimpan informasi dasar akun pengguna, seperti email, kata sandi, dan role\_id yang mengidentifikasi peran pengguna dalam sistem. Relasi ini

dihubungkan dengan entitas *roles*, yang menentukan jenis peran pengguna seperti admin, dokter, atau pasien. Entitas admin dan dokters merupakan turunan dari users, dengan menyimpan data tambahan seperti nama dan relasi langsung ke user\_id.

Entitas pasiens digunakan untuk menyimpan informasi pasien, termasuk nama, jenis kelamin, serta dokter\_id yang menunjukkan bahwa setiap pasien ditangani oleh seorang dokter tertentu. Satu pasien dapat memiliki satu atau lebih perangkat yang tercatat dalam entitas devices, yang menyimpan informasi seperti nama perangkat, identitas pasien yang menggunakan, dan waktu pencatatan.

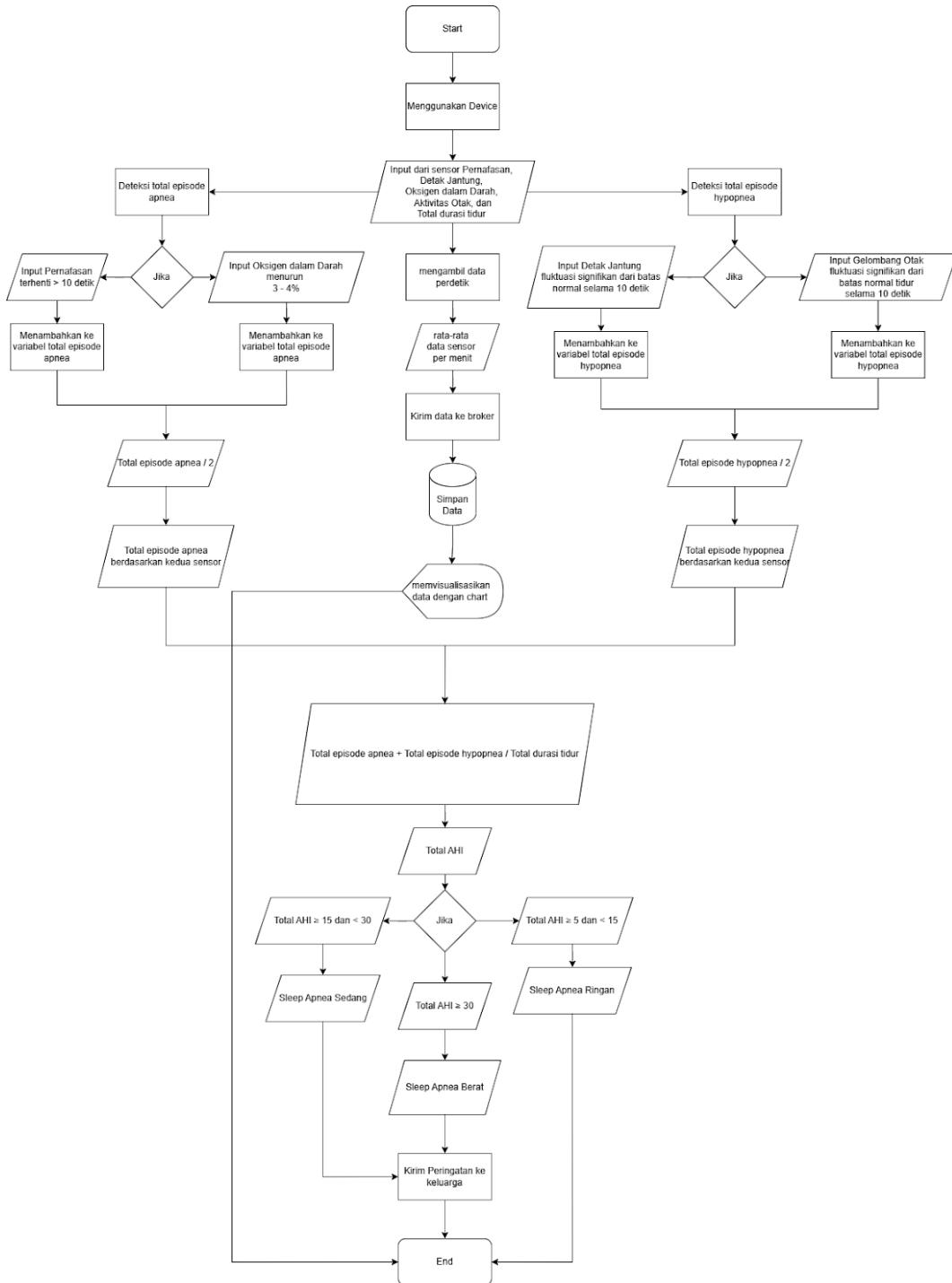
Status perangkat disimpan dalam entitas status, yang mencatat kondisi operasional terkini dari perangkat seperti aktif, tidak aktif, atau offline, beserta waktu pembaruannya. Data hasil pemantauan disimpan dalam entitas hasil, yang mencakup waktu mulai dan selesai pemantauan, jumlah kejadian apnea dan hypopnea, durasi tidur, nilai AHI (Apnea Hypopnea Index), serta pembagian fase tidur (REM dan NREM).

Selanjutnya, data-data yang diperoleh dari perangkat disimpan dalam entitas terpisah berdasarkan jenis sensor. Entitas max menyimpan data detak jantung dan kadar oksigen darah ( $\text{SpO}_2$ ) dari sensor MAX30102. Entitas piezo menyimpan data mentah dari sensor piezoelektrik yang mengukur laju pernapasan. Data ini kemudian diolah dan disimpan dalam entitas respiration sebagai nilai respiratory rate (RPM). Data aktivitas otak dari TGAM EEG Sensor disimpan dalam entitas tgam untuk sinyal mentah, dan entitas brain untuk hasil klasifikasi gelombang otak menjadi delta, theta, alpha, beta, dan gamma.

Setiap entitas data sensor terhubung ke entitas devices, yang menunjukkan bahwa seluruh data yang dikumpulkan berasal dari perangkat tertentu. Hubungan antar entitas dalam model ini mendukung integrasi sistem monitoring yang efisien, serta memungkinkan pelacakan riwayat kondisi pasien secara menyeluruh dan sistematis.

### 3.4 Flowchart Sistem

Flowchart ini menggambarkan alur sistem monitoring *sleep apnea* berbasis IoT, dimulai dari pengumpulan data sensor (pernapasan, detak jantung, oksigen darah, dan aktivitas otak) hingga deteksi episode *apnea* dan *hypopnea*. Sistem menghitung total episode, menganalisis Indeks *Apnea-Hypopnea* (AHI), dan mengklasifikasikan tingkat keparahan *sleep apnea* (ringan, sedang, atau berat). Jika terdeteksi kondisi berat, sistem mengirimkan peringatan ke keluarga untuk tindakan lebih lanjut.



Gambar 3.6 Flowchart Sistem

Pada gambar flowchart di atas, di jelaskan sistem monitoring *sleep apnea* dimulai dengan tanda Start, yang menandakan dimulainya seluruh alur proses. Proses ini diawali ketika pengguna mengaktifkan perangkat yang dilengkapi dengan sensor untuk memonitor kondisi tidur, seperti pernapasan, detak jantung, dan tingkat oksigen dalam darah. Begitu perangkat aktif, sensor pada perangkat akan

mengirimkan data setiap 1 menit sekali ke sebuah broker. Broker berfungsi sebagai perantara untuk menerima data dari sensor dan meneruskannya ke sistem lainnya. Setelah broker menerima data, data tersebut kemudian dikirimkan ke database untuk disimpan secara permanen. Database ini berfungsi untuk menyimpan data yang diterima dengan aman, memungkinkan akses dan analisis di masa mendatang. Setelah data tersimpan, data tersebut akan ditampilkan di website dalam bentuk grafik, tabel, atau visualisasi lainnya untuk memudahkan pengguna dalam memahami informasi tentang kualitas tidurnya.

Selanjutnya, sistem akan melakukan perhitungan atau analisis terhadap data yang telah terkumpul. Proses ini bertujuan untuk memberikan hasil pemeriksaan yang bisa berupa diagnosis *sleep apnea*, prediksi kondisi tidur, atau informasi relevan lainnya yang penting bagi pengguna. Hasil analisis ini kemudian ditampilkan di website, memberi wawasan kepada pengguna mengenai kondisi tidur mereka. Selain itu, hasil perhitungan ini juga disimpan dalam database khusus untuk pemeriksaan lebih lanjut. Pengguna dapat memilih tanggal tertentu untuk melihat hasil pemeriksaan pada tanggal yang diinginkan, mempermudah pemantauan perkembangan kondisi tidur mereka dari waktu ke waktu. Setelah seluruh proses selesai, sistem mengakhiri siklusnya dengan tanda End, yang menandakan bahwa proses monitoring *sleep apnea* telah selesai dan siap dimulai kembali jika diperlukan.

### **3.5 Skenario Pengujian**

Pada bagian ini, penulis akan melakukan pengujian terhadap sistem yang sudah dibuat. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Selanjutnya, sub-bab berikut akan menjelaskan skenario-skenario pengujian yang akan dilakukan oleh penulis untuk memastikan sistem dapat digunakan secara optimal.

### 3.5.1 Skenario Pengiriman Data Sensor Melalui MQTT ke MySQL

Tabel 3.3 Pengiriman Data Sensor menggunakan MQTT ke MySQL

Nama Uji Butir	Pengiriman Data Sensor Menggunakan MQTT sampai ke MySQL
Tujuan	Memastikan data disimpan ke dalam database sehingga dapat dilihat kembali hasilnya
Deskripsi	Setiap data sensor akan dikirim dengan format JSON, pada saat data sensor sampai di broker data menjadi String dan harus di ubah menjadi JSON Object dengan fungsi JSON pada Node Red, dan Data JSON yang sudah berbentuk JSON Object akan di kirim melalui function logic di Node Red untuk di insert ke MySQL
Kondisi Awal	Memiliki smart object, server MQTT Broker, dan server untuk Node Red serta MySQL
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menyediakan Server untuk mqtt broker yang sudah di install mosquitto</li> <li>2. Menyediakan paho-mqtt pada smart object sebagai mqtt client</li> <li>3. Membuat Kode python untuk mengirim data sensor dalam format json ke ip address broker</li> <li>4. Menyediakan Server untuk Node Red dan MySQL</li> <li>5. Membuat logic dengan fungsi di node red untuk menuliskan data ke MySQL</li> <li>6. Mengintegrasikan Aplikasi dengan Database menggunakan Laravel</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Kerja	Pengujian kepada setiap layer sudah baik dan perlu ditingkatkan keamanan data yang dikirimkan pada setiap layer agar data tidak rusak pada saat proses pengiriman.

Dalam sistem monitoring *sleep apnea* berbasis IoT, sensor yang dipasang pada pengguna (seperti sensor detak jantung, SpO2, atau gelombang otak) mengirimkan data melalui protokol MQTT ke server. MQTT adalah protokol komunikasi yang ringan dan efisien, yang memungkinkan pengiriman data sensor secara real-time. Data ini kemudian diterima oleh server dan disimpan di database MySQL. Misalnya, data detak jantung atau kadar oksigen dalam darah yang diukur oleh sensor akan disimpan di MySQL untuk pemrosesan lebih lanjut dan analisis pola tidur pengguna.

### 3.5.2 Skenario Menampilkan Data Sensor Secara Real-time di Website

Tabel 3.4 Data Sensor di Website

Nama Uji Butir	Menampilkan data sensor secara Real-time Di Website
Tujuan	Agar Pengguna tidak perlu refresh website untuk memperoleh data terbaru
Deskripsi	Data yang ditampilkan website belum responsif sehingga perlu memasukan teknologi AJAX agar data menjadi real time di tampilan website
Kondisi Awal	Database sudah terintegrasi dengan aplikasi
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Membuat fungsi di controller pada laravel dengan logic data diambil berdasarkan waktu sekarang</li> <li>2. Membuat fungsi javascript pada halaman monitoring untuk menampung data untuk ditampilkan</li> <li>3. Membuat route untuk memanggil logic dari controller</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Kerja	
Data yang ditampilkan sudah baik	

Setelah data dikirimkan dan disimpan di *database*, data sensor tersebut akan ditampilkan secara langsung di *website* yang terhubung dengan sistem. Hal ini

memungkinkan pengguna atau pihak medis untuk memantau kondisi tidur dan kesehatan pengguna secara *real-time*. Misalnya, detak jantung atau tingkat oksigen darah yang diukur selama tidur dapat diperbarui setiap beberapa detik di *website*, memberikan informasi terkini mengenai kondisi pengguna yang dapat membantu deteksi dini masalah seperti *sleep apnea*.

### 3.5.3 Skenario Pengujian Pemeriksaan Pasien

Tabel 3.5 Pengujian untuk pemeriksaan pasien

Nama Uji Butir	Pengujian Pemeriksaan Pasien
Tujuan	Memastikan data perhitungan untuk menentukan tingkat keparahan <i>sleep apnea</i> .
Deskripsi	Menguji device untuk memeriksa pasien secara otomatis dan dapat dimonitoring pada aplikasi
Kondisi Awal	Device, Network, Database, dan Aplikasi sudah diintegrasikan
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memasangkan alat ke pasien</li> <li>2. Menguji data yang telah diproses dengan rumus memiliki output sesuai dengan pengecekan</li> <li>3. Membandingkan dengan alat lain</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Kerja	
	Data yang tidak sesuai dengan output pengecekannya

Pengujian pemeriksaan pasien bertujuan untuk memastikan keakuratan data yang dihasilkan oleh perangkat dalam menentukan tingkat keparahan *sleep apnea*. Perangkat ini dirancang untuk memeriksa pasien secara otomatis dengan hasil yang dapat dimonitor melalui aplikasi yang terintegrasi. Sebelum pengujian, perangkat, jaringan, database, dan aplikasi harus sudah terhubung dan berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memasang alat pada pasien, memproses data

menggunakan rumus tingkat keparahan *sleep apnea* (AHI), dan membandingkan hasil perangkat dengan alat pembanding yang telah tervalidasi. Data dianggap tidak valid jika hasil perangkat berbeda secara signifikan dari alat pembanding atau tidak sesuai dengan hasil pengecekan manual. Pengujian ini bertujuan memastikan perangkat memenuhi standar medis untuk mendukung diagnosis *sleep apnea* secara akurat.

### 3.5.4 Skenario Pengujian Sensor MAX30102

Tabel 3.6 Pengujian Sensor MAX

Nama Uji Butir	Pengujian Sensor MAX30102 untuk mendeteksi detak jantung
Tujuan	Memastikan data dari sensor akurat
Deskripsi	Penggunaan sensor MAX3010 untuk mengukur detak jantung oksigen dalam darah
Kondisi Awal	Mengintegrasikan sensor ke raspberry pi
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menghubungkan pin sensor ke raspberry pi</li> <li>2. Membuat kode python untuk menghasilkan data detak jantung dan oksigen dalam darah</li> <li>3. Membandingkan dengan alat lain dan pengecekan manual</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Kerja	Data yang dihasilkan sudah akurat secara keseluruhan tetapi dapat berbeda setiap menitnya.

Sensor MAX30102 digunakan untuk mengukur detak jantung dan tingkat saturasi oksigen dalam darah ( $SpO_2$ ), dua parameter penting dalam mendeteksi *sleep apnea*. Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari sensor MAX30102 dengan alat medis standar (seperti pulse oximeter). Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sensor ini memberikan pengukuran yang akurat

dan konsisten, sehingga dapat diandalkan dalam sistem monitoring untuk mendeteksi gangguan tidur pada pengguna.

### 3.5.5 Skenario Pengujian Sensor Piezoelectric

Tabel 3.7 Pengujian Sensor Piezoelectric

Nama Butir Uji	Pengujian Sensor Piezoelectric untuk mendeteksi pernapasan
Tujuan	Memastikan data dari sensor akurat
Deskripsi	Penggunaan sensor Piezoelectric untuk mengukur pernafasan.
Kondisi Awal	Mengintegrasikan sensor ke raspberry pi
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menghubungkan pin sensor ke raspberry pi</li> <li>2. Membuat kode python untuk menghasilkan data pernafasan</li> <li>3. Membandingkan dengan pengecekan manual</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Hasil	Data yang dihasilkan sudah akurat secara keseluruhan tetapi dapat berbeda setiap menitnya.

Sensor Piezoelectric digunakan untuk mendeteksi gerakan tubuh atau pergerakan dada saat tidur, yang dapat memberikan informasi tentang pola pernapasan pengguna. Pengujian dilakukan dengan memonitor bagaimana sensor Piezoelectric merespon gerakan tubuh pengguna saat tidur, untuk memastikan bahwa sensor dapat dengan tepat mendeteksi perubahan yang berhubungan dengan gangguan pernapasan, seperti saat terjadi henti napas pada *sleep apnea*. Data yang diperoleh akan membantu sistem dalam menganalisis apakah pengguna mengalami gangguan tidur atau tidak.

### 3.5.6 Skenario Pengujian Sensor TGAM

Tabel 3.8 Pengujian Sensor TGAM

Nama Butir Uji	Pengujian Sensor TGAM
Tujuan	Memastikan sensor dapat berkomunikasi ke raspberry pi dan data dari sensor akurat
Deskripsi	Penggunaan sensor TGAM untuk mengukur setiap pita frekuensi otak manusia.
Kondisi Awal	Mengintegrasikan sensor ke raspberry pi
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menghubungkan sensor ke raspberry pi</li> <li>2. Membuat kode python untuk menghasilkan data setiap pita frekuensi</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Hasil	
	Konektivitas sensor belum dapat diintegrasikan

Sensor TGAM dalam sistem ini digunakan untuk mengukur parameter lingkungan seperti suhu, yang bisa mempengaruhi kualitas tidur. Pengujian dilakukan dengan memantau akurasi pengukuran sensor TGAM di berbagai kondisi lingkungan, untuk memastikan bahwa pengaruh faktor eksternal terhadap tidur, seperti suhu ruangan, dapat tercatat dengan benar. Sensor ini akan membantu memberikan gambaran lebih lengkap tentang faktor-faktor yang mempengaruhi tidur dan mendukung sistem dalam memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas tidur pengguna.

### 3.5.7 Skenario Pengujian Alat kepada Pengguna

Tabel 3.9 Pengujian Alat kepada Pengguna

Nama Butir Uji	Pengujian produk kepada pengguna
Tujuan	Mengevaluasi produk dapat digunakan dengan nyaman dan baik
Deskripsi	Pengujian produk kepada pengguna dilakukan untuk menguji produk dapat berfungsi dengan baik ketika digunakan oleh pengguna.
Kondisi Awal	Mengenakan produk kepada pengguna
Tanggal Pengujian	-
Penguji	Mahasiswa
Skenario Uji	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengenakan produk kepada pengguna</li> <li>2. Memantau hasil produk pada website</li> <li>3. Melihat langsung kondisi pengguna</li> </ol>
Kriteria Evaluasi Hasil	
	Konektivitas tidak baik antara produk dengan aplikasi

Pengujian produk kepada pengguna bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat yang telah dibuat dapat berfungsi secara optimal, nyaman digunakan, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna dalam kondisi nyata. Proses ini difokuskan pada evaluasi kinerja alat, termasuk kestabilan konektivitas antara perangkat dan aplikasi, keakuratan data yang dihasilkan, serta kenyamanan pengguna saat menggunakan perangkat tersebut.

Melalui pengujian ini, pengembang dapat mengenali kendala-kendala potensial seperti masalah konektivitas, ketidakakuratan data, atau ketidaknyamanan pengguna. Hasil pengujian kemudian digunakan sebagai panduan untuk memperbaiki perangkat, baik dari sisi teknis maupun desain, sehingga alat dapat memenuhi harapan pengguna dengan lebih baik.

Melibatkan pengguna secara langsung dalam proses pengujian memungkinkan pengembang untuk memastikan bahwa perangkat tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga mampu memberikan manfaat nyata sesuai kebutuhan pengguna. Pengujian ini juga berperan penting dalam mempersiapkan perangkat agar siap digunakan secara luas dengan kualitas dan keandalan yang terjamin.

## **BAB IV**

### **IMPLEMENTASI DAN HASIL PENGUJIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai implementasi terhadap sistem yang akan dilakukan. Proses implementasi prototipe, implementasi pada Raspberry Pi dan implementasi pada tampilan monitoring melalui aplikasi.

#### **4.1 Instalasi**

Pada sub bab ini, akan diuraikan tentang proses instalasi yang dilakukan dalam penggerjaan implementasi Devices Management. Instalasi yang dilakukan seperti instalasi sistem operasi Raspberry Pi, instalasi Node-RED, instalasi MQTT dan instalasi Grafana.

##### **4.1.1 Instalasi Raspberry Pi**

Raspberry Pi merupakan perangkat keras yang digunakan sebagai mikroprosesor untuk mengoperasikan perangkat IoT dan mengirim data ke server.

Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan instalasi Raspberry Pi:

1. Disini menggunakan Python sebagai bahasa pengembangan untuk MQTT pada Raspberry Pi. Berikut command yang digunakan untuk melihat phyton yang sudah terinstal.

```
# python3 --version
```

2. Jika belum terinstal, maka dapat menggunakan perintah "apt", berikut command yang digunakan:

```
# sudo apt install python3
```

3. Kemudian instal klien paho MQTT dengan command berikut:

```
# git clone --depth 1 -b v1.6.1 https://github.com/eclipse/paho.mqtt.python
cd paho.mqtt.python
python3 setup.py install
```

#### 4.1.2 Instalasi Node-RED

Node-RED adalah software yang digunakan sebagai server yang akan mengelola data yang diterima dari perangkat IoT. Alat ini berfungsi untuk menerima dan menampilkan data yang dipublikasikan dari Raspberry Pi, memungkinkan pengelolaan data secara visual melalui antarmuka yang mudah digunakan.

Berikut merupakan langkah-langkah dalam instalasi Node-RED pada ubuntu:

Berikut merupakan langkah-langkah dalam instalasi Node-RED pada ubuntu

1. Pastikan bahwa ubuntu yang dimiliki sudah menggunakan update yang terbaru. Hal ini dapat dilakukan menggunakan command berikut:

```
# sudo yum update -y
```

2. Lakukan instalasi estra repositories dengan menggunakan command:

```
# sudo yum install epel-release -y
```

3. Lakukan instal wget dengan command berikut:

```
# sudo yum install wget -y
```

4. Lanjutkan dengan instalasi NodeJS dan npm dengan command:

```
# sudo yum install nodejs
```

5. Selanjutnya install NodeRED menggunakan command berikut:

```
# sudo npm install -g node-red
```

6. Perlu dilakukan pengecekan untuk memastikan bahwa NodeJS dan npm telah terinstall menggunakan command berikut:

```
# node -version
```

```
# npm --version
```

7. Tahap terakhir adalah dengan melakukan instalasi service script menggunakan command berikut:

```
sudo wget -O /etc/systemd/system/Node-Red.service
https://raw.githubusercontent.com/ktndesai/Node
RED/master/Node-Red.service
```

#### 4.1.3 Instalasi MQTT

*Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) adalah protokol komunikasi yang dirancang untuk *machine-to-machine* (M2M) dan mampu mengirimkan data dengan efisien menggunakan arsitektur TCP/IP. Protokol ini menjamin pengiriman pesan meskipun koneksi terputus. MQTT menggunakan metode komunikasi *publish* dan *subscribe*, antara *client* dan *server*.

Berikut adalah langkah-langkah dalam instalasi MQTT:

1. Langkah pertama adalah menginstal mosquitto (MQTT open source) dengan command berikut:

```
# sudo yum update -y
```

2. Lakukan konfigurasi mosquitto dengan mengedit file.

```
/etc/mosquito/mosquitto.conf
```

3. Buat direktori DB jika belum ada, dengan command berikut:

```
# sudo mkdir -p /var/lib/mosquitto/
# sudo chown mosquitto:mosquitto /var/lib/mosquitto
```

4. Selanjutnya menjalankan mosquitto dengan command:

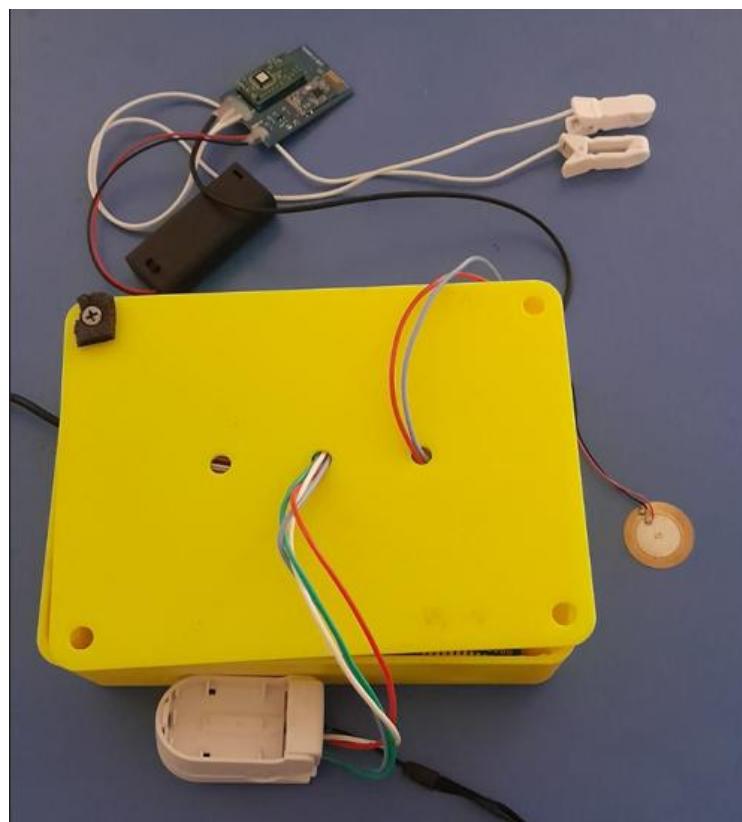
```
# sudo systemctl start mosquitto
# sudo systemctl enable mosquitto
```

## 4.2 Implementasi

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai konfigurasi yang dilakukan terhadap instalasi yang telah dilakukan sebelumnya.

### 4.2.1 Implementasi Perangkat Keras

Pada bagian ini menjelaskan implementasi dari perangkat yang menyusun dari sistem yang akan dibangun pada Tugas Akhir ini.



Gambar 4.1 Tampilan Produk

Implementasi perangkat keras merupakan tahap realisasi dari sistem monitoring *Sleep Apnea* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Sistem ini difokuskan untuk memantau tiga parameter fisiologis utama, yaitu aktivitas otak, laju pernapasan, serta kadar oksigen dan detak jantung.

Perangkat keras ini terdiri dari tiga sensor utama, yaitu:

- Sensor EEG, berfungsi untuk merekam aktivitas listrik pada otak yang digunakan untuk memantau pola tidur serta mendeteksi kemungkinan gangguan tidur, termasuk Sleep Apnea.

- Sensor tekanan (Force Sensitive Resistor/FSR), digunakan untuk mengukur pergerakan dada sebagai indikator laju pernapasan selama tidur.
- Sensor pulse oximeter, digunakan untuk mengukur kadar oksigen dalam darah ( $\text{SpO}_2$ ) serta detak jantung secara real-time.

Ketiga sensor terhubung ke Raspberry Pi, yang berfungsi sebagai unit pemrosesan utama (central processing unit) dalam sistem ini. Raspberry Pi melakukan pengambilan data (akuisisi), pengolahan awal, serta pengiriman data ke server monitoring berbasis Node-RED melalui koneksi bluetooth.



Gambar 4.2 Penggunaan Sensor Pulse Oxymeter

Gambar diatas memperlihatkan sensor yang dijepit di ujung jari pengguna. Ini adalah sensor  $\text{SpO}_2$  (oksigen darah) atau sensor detak jantung yang digunakan untuk mendeteksi saturasi oksigen dan perubahan denyut nadi sebagai parameter penting dalam mendeteksi *sleep apnea*.

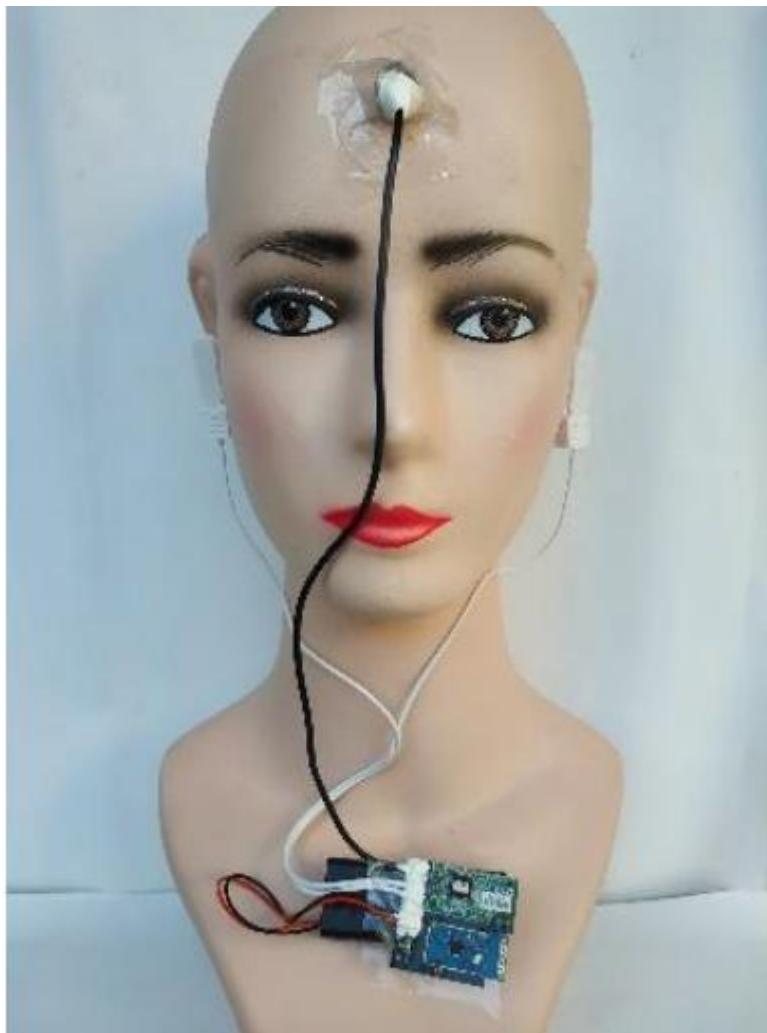


Gambar 4.3 Penggunaan Sensor Piezoelectric pada Perut bagian Kanan

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi laju pernapasan dengan cara menangkap perubahan tekanan atau getaran pada bagian dada saat terjadi ekspansi dan kontraksi akibat aktivitas pernapasan.

Sensor diletakkan pada bagian dada subjek, tepat di bawah tulang dada (sternum), dan dipasangkan menggunakan sabuk elastis agar tetap stabil pada posisinya selama proses pengambilan data. Pemilihan posisi ini bertujuan untuk memperoleh respons tekanan yang optimal saat subjek bernapas, tanpa mengganggu kenyamanan selama pemakaian.

Peletakan sensor dilakukan dengan memperhatikan prinsip ergonomis, yaitu memastikan tidak menghambat pernapasan alami subjek dan tetap memberikan sinyal sensor yang akurat. Data yang diperoleh dari sensor ini kemudian dikirim ke Raspberry Pi untuk dianalisis sebagai indikator adanya gangguan pernapasan seperti henti napas (apnea).



Gambar 4.4 Penggunaan Sensor EEG

Gambar diatas memperlihatkan peletakan sensor EEG (*Electroencephalography*) yang berfungsi untuk merekam aktivitas listrik otak. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi pola gelombang otak selama tidur dan mengidentifikasi adanya gangguan seperti *Sleep Apnea* berdasarkan karakteristik sinyal yang terekam.

Sensor EEG diletakkan pada bagian tengah dahi subjek, yang merupakan salah satu titik standar dalam sistem pengukuran EEG. Dua elektroda tambahan diposisikan di belakang telinga sebagai *ground* dan referensi. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kemudahan pemasangan serta kemampuan sensor untuk menangkap sinyal otak dengan intensitas yang memadai.

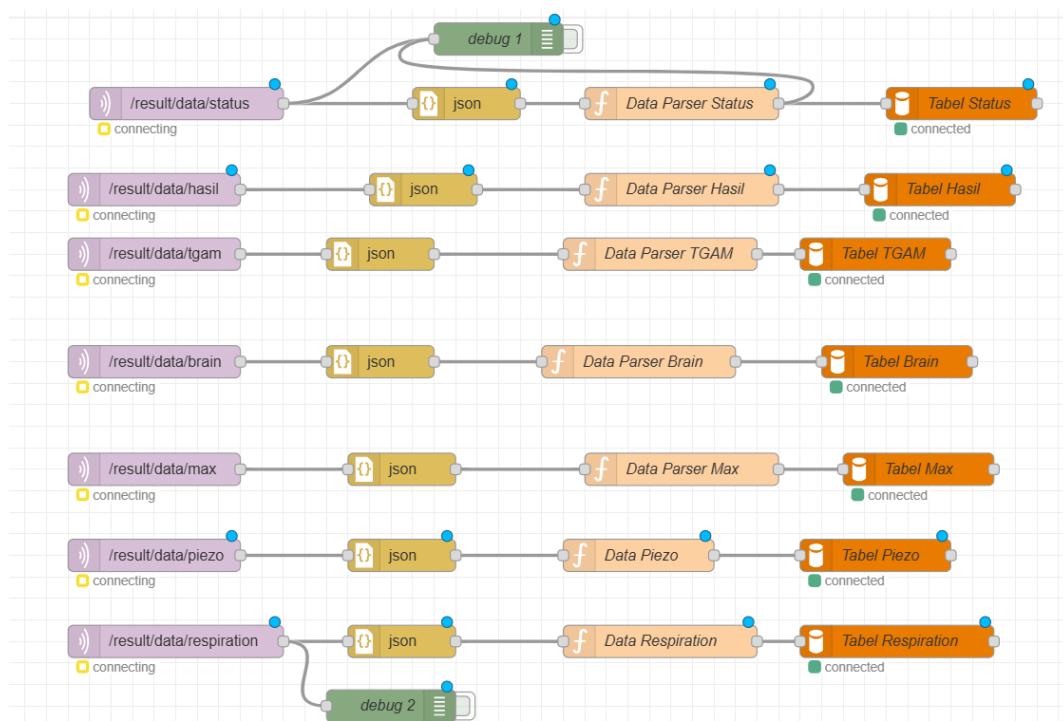
Sensor dihubungkan langsung ke modul EEG yang menempel di bagian bawah leher atau dada, seperti terlihat pada gambar. Modul ini mengakuisisi sinyal EEG

dari sensor, kemudian meneruskannya ke Raspberry Pi untuk diproses dan dikirimkan ke sistem monitoring.

Peletakan sensor dilakukan dengan menggunakan perekat medis agar posisi sensor tetap stabil selama proses pengambilan data berlangsung, tanpa mengganggu kenyamanan subjek.

#### 4.2.2 Implementasi Pengolahan Data ke Database melalui Node-RED

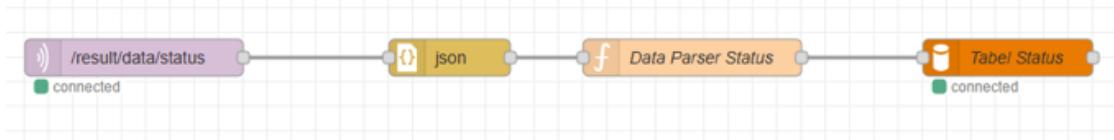
Bagian ini menguraikan proses penerapan Node-RED dalam pengembangan proyek Tugas Akhir. Penerapan ini mencakup pembuatan sistem IoT yang berfungsi sebagai platform utama untuk mengimplementasikan Node-RED. Proyek dirancang dengan memanfaatkan berbagai node yang saling terhubung, menciptakan alur kerja yang terintegrasi.



Gambar 4.5 Tampilan Pengolahan Data oleh Node-RED

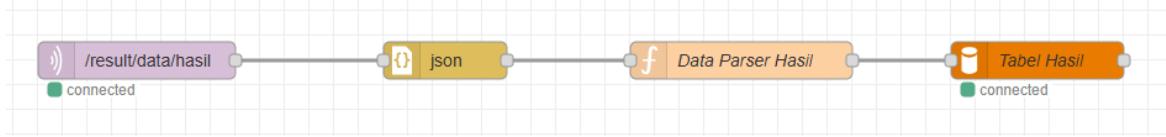
Berikut ini adalah penjelasan rangkaian pengiriman data pada Node-RED:

### 1. Mengirim Informasi Data Device *Active* atau *Inactive*.



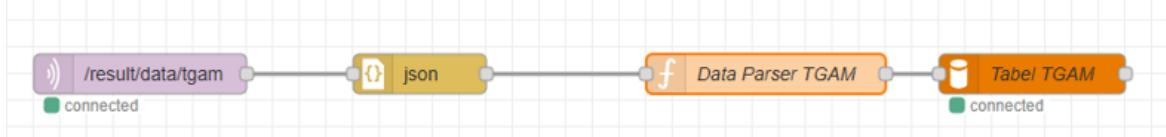
Pertama, data diterima dari broker MQTT pada topik /result/data/status. Data ini awalnya berbentuk string JSON, lalu diubah menjadi format objek oleh node json. Setelah itu, node Data Parser Status berfungsi untuk mengekstrak atau memformat nilai data yang dibutuhkan. Terakhir, data yang telah diproses dimasukkan ke dalam database melalui node Tabel Status. Seluruh node menunjukkan status *connected*, artinya data berhasil mengalir tanpa gangguan.

### 2. Mengirim Informasi Hasil Keseluruhan Pemeriksaan



Alur ini berfungsi untuk menerima dan memproses data gabungan dari berbagai sensor fisiologis. Node pertama (/result/data/hasil) menerima data dalam format payload, kemudian node json digunakan untuk mengonversi data mentah menjadi format JSON. Selanjutnya, node Data Parser Hasil akan memisahkan dan mengelola data sesuai dengan parameter yang diinginkan, seperti nilai detak jantung, kadar oksigen, dan gelombang otak. Setelah proses parsing selesai, data dikirim ke Tabel Hasil, yaitu database yang berfungsi untuk menyimpan seluruh hasil pengukuran secara terstruktur. Proses ini memastikan bahwa seluruh data tersimpan dengan format yang siap untuk dianalisis lebih lanjut.

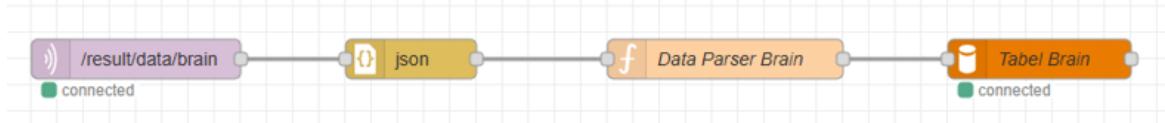
### 3. Mengirim Informasi Data Raw EEG saat Pemeriksaan Berlangsung



Alur ini menerima data EEG mentah dari topic /result/data/tgam. Data kemudian dikonversi dari format string menjadi JSON. Fungsi Data Parser TGAM memproses

data EEG mentah agar bisa dimengerti sistem. Setelah diproses, data disimpan ke dalam Tabel TGAM untuk keperluan analisis atau visualisasi. EEG mentah biasanya digunakan untuk melihat sinyal asli otak secara langsung. Proses ini penting untuk diagnosa lebih lanjut atau perhitungan fitur EEG. Semua node sudah dalam kondisi *connected*, artinya sistem aktif berjalan.

#### 4. Mengirim Informasi Data Power Band EEG saat Pemeriksaan



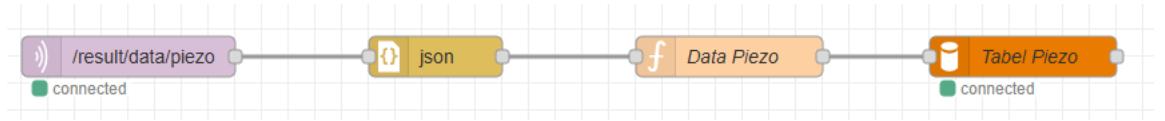
Data Power Band EEG dikirim dari topic /result/data/brain. Power Band mencakup gelombang Alpha, Beta, Delta, dll, yang mewakili aktivitas otak. Data diubah ke format JSON lalu diproses oleh Data Parser Brain. Parser ini mengelompokkan data sesuai band frekuensinya. Data hasil parsing disimpan ke Tabel Brain untuk analisis fungsi kognitif atau kondisi emosional. Power Band digunakan untuk evaluasi tingkat stres, fokus, atau relaksasi. Semua node terhubung dengan baik dan siap digunakan.

#### 5. Mengirim Informasi Data Heart Rate dan SpO2 saat Pemeriksaan Berlangsung



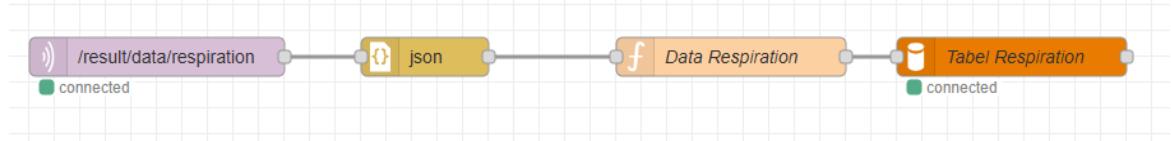
Alur ini menangani data dari sensor detak jantung dan oksigen darah (SpO2) melalui topic /result/data/max. Data dikonversi ke JSON, lalu diolah oleh Data Parser Max. Fungsi parser mengekstrak nilai Heart Rate dan SpO2 dari payload JSON. Hasil olahan disimpan ke Tabel Max dalam database. Informasi ini penting untuk memantau kondisi jantung dan pernapasan pasien. Cocok digunakan dalam monitoring kesehatan real-time. Node dalam keadaan aktif dan siap bekerja.

#### 6. Mengirim Informasi Data Raw Respiration saat Pemeriksaan



Alur ini mengambil sinyal pernapasan mentah dari sensor piezo melalui topic /result/data/piezo. Data mentah dikonversi ke JSON agar bisa diproses. Fungsi Data Piezo mengelola sinyal ini agar siap dianalisis atau ditampilkan. Data kemudian disimpan ke Tabel Piezo sebagai log napas mentah. Informasi ini bisa dipakai untuk menghitung frekuensi napas atau mendeteksi gangguan napas. Biasanya digunakan sebelum dilakukan ekstraksi laju napas. Semua node menunjukkan status terhubung (*connected*).

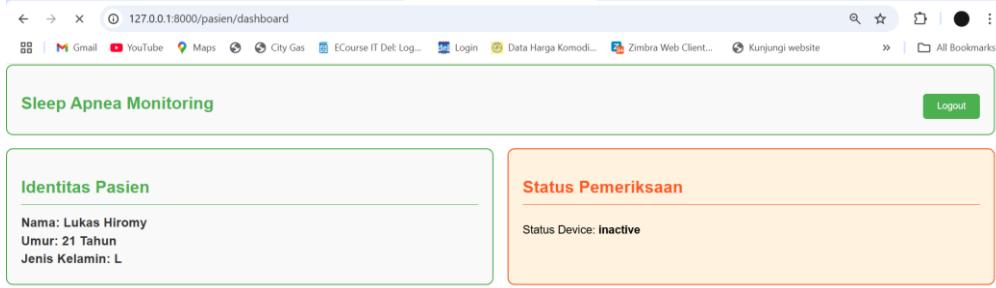
## 7. Mengirim Informasi Data Respiration Rate saat Pemeriksaan`



Alur ini mengolah data laju napas yang sudah dihitung sebelumnya, dari topic /result/data/respiration. Setelah data diubah ke format JSON, fungsi Data Respiration mengambil nilai laju napas tersebut. Data kemudian dikirim ke Tabel Respiration untuk disimpan. *Respiration Rate* penting untuk memantau sistem pernapasan pasien. Bisa digunakan untuk deteksi dini gangguan seperti apnea atau hiperventilasi. Proses ini merupakan hasil lanjutan dari data piezo mentah sebelumnya. Semua node berfungsi dengan baik dan tersambung.

### 4.2.3 Implementasi Informasi Data Pasien dan Informasi Status Pemeriksaan

Aplikasi monitoring Sleep Apnea adalah sistem berbasis web yang dirancang untuk memantau kondisi pasien secara real-time, melalui empat parameter utama: laju pernapasan (RPM), detak jantung (BPM), kadar oksigen dalam darah (SpO<sub>2</sub>), dan aktivitas gelombang otak (EEG). Aplikasi ini mendukung visualisasi data secara analitik, penghitungan indeks AHI, serta pengambilan keputusan medis secara cepat dan akurat.



Gambar 4.6 Tampilan Monitoring Sleep Apnea

Tampilan antarmuka pada gambar tersebut merupakan bagian dari sistem Sleep Apnea Monitoring yang dirancang untuk menampilkan informasi identitas pasien dan status pemeriksaan secara real-time. Pada bagian kiri, sistem menampilkan data identitas pasien yang mencakup nama, usia, dan jenis kelamin. Informasi ini ditampilkan secara otomatis berdasarkan data yang telah dimasukkan sebelumnya dan bertujuan untuk memastikan bahwa proses pemeriksaan dilakukan terhadap pasien yang sesuai.

Di sisi kanan, terdapat komponen status pemeriksaan yang menunjukkan kondisi koneksi perangkat medis yang digunakan. Dalam contoh tampilan, status perangkat ditunjukkan sebagai *inactive*, yang menandakan bahwa perangkat belum terhubung atau belum mengirimkan data pemeriksaan ke sistem. Informasi ini sangat penting untuk memastikan kesiapan sistem sebelum proses akuisisi data dimulai. Selain itu, sistem juga menyediakan tombol *Logout* sebagai bagian dari fitur keamanan untuk mengakhiri sesi pengguna secara aman.

Desain antarmuka disusun secara sederhana dan informatif untuk memudahkan tenaga medis atau operator dalam melakukan pemantauan dan validasi data pasien disusun secara sederhana dan informatif untuk memudahkan tenaga medis atau operator dalam melakukan pemantauan dan validasi data pasien sederhana dan informatif untuk memudahkan tenaga medis atau operator dalam melakukan pemantauan dan validasi data pasien.

#### 4.2.4 Implementasi Nilai dari Sensor



Gambar 4.7 Tampilan Grafik dari Pembacaan Sensor

Gambar 16 menampilkan hasil implementasi nilai sensor dalam bentuk visualisasi grafik yang disajikan pada *dashboard* sistem Sleep Apnea Monitoring. Data yang ditampilkan berasal dari sensor yang digunakan selama pemeriksaan pasien secara *real-time*. Setiap grafik mewakili data dari sensor yang berbeda untuk memudahkan analisis kondisi fisiologis pasien secara menyeluruh.

Grafik pertama menunjukkan aktivitas jantung dan kadar oksigen dalam darah, yang masing-masing diwakili oleh nilai *Heart Rate* (detak jantung) dan *SpO<sub>2</sub>* (saturasi oksigen). Grafik ini menggunakan visualisasi batang untuk memberikan perbandingan langsung antar nilai. Selanjutnya, grafik aktivitas pernapasan menampilkan data sinyal mentah dari sensor piezoelektrik dalam bentuk gelombang, yang merepresentasikan pola naik-turun pernapasan pasien.

Pada bagian bawah, grafik RAW EEG memperlihatkan sinyal listrik otak mentah yang diperoleh dari sensor EEG. Sinyal ini divisualisasikan dalam bentuk garis, yang menunjukkan aktivitas listrik di otak. Sedangkan grafik EEG Power Bands menunjukkan pembagian spektrum EEG menjadi beberapa band frekuensi, yaitu Delta, Theta, Alpha, Beta, dan Gamma. Setiap band menggambarkan jenis aktivitas otak tertentu, seperti relaksasi, konsentrasi, atau stimulasi kognitif.

Secara keseluruhan, implementasi nilai sensor dalam bentuk grafik ini memungkinkan tenaga medis untuk memantau dan mengevaluasi kondisi pasien secara cepat dan akurat. Visualisasi yang interaktif dan informatif sangat mendukung proses pengambilan keputusan dalam diagnosis maupun tindak lanjut medis.

#### 4.2.5 Implementasi Data Hasil Pemeriksaan Pasien



Gambar 4.8 Tampilan Hasil Pemeriksaan Pasien

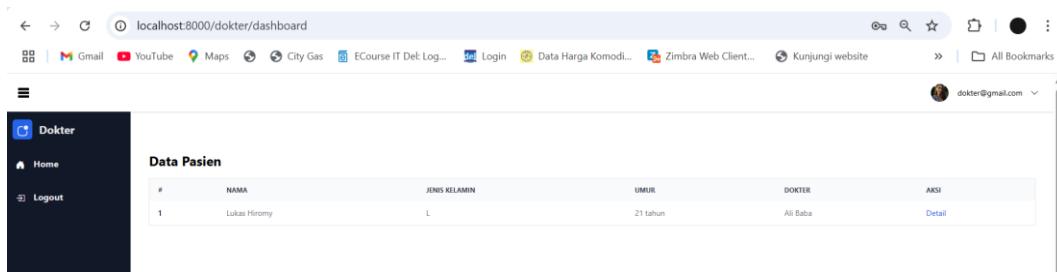
Tampilan pada gambar menunjukkan implementasi akhir dari proses akuisisi dan analisis data dalam sistem Sleep Apnea Monitoring. Informasi hasil pemeriksaan ditampilkan secara rinci, mencakup waktu mulai dan selesai pemeriksaan, total episode apnea dan *hypopnea*, serta durasi masing-masing fase tidur (REM dan NREM). Data ini dihasilkan dari pengolahan sinyal fisiologis yang dikumpulkan selama pasien menjalani pemeriksaan, kemudian diolah untuk mengidentifikasi pola tidur serta gangguan yang terjadi.

Salah satu parameter utama yang ditampilkan adalah AHI (*Apnea-Hypopnea Index*), yaitu indikator klinis yang mengukur tingkat keparahan gangguan tidur berdasarkan jumlah episode apnea dan *hypopnea* per jam tidur. Dalam tampilan

tersebut, AHI pasien tercatat sebesar 24.72/jam, yang termasuk dalam kategori sleep apnea sedang.

Sistem juga menampilkan kesimpulan otomatis yang menjelaskan bahwa fase tidur REM dan NREM pasien berada di bawah normal. Hal ini mengindikasikan adanya gangguan tidur yang signifikan, seperti sleep apnea atau tidur yang tidak nyenyak akibat gangguan lain. Dengan visualisasi dan kesimpulan ini, sistem membantu tenaga medis dalam pengambilan keputusan awal dan menyarankan tindak lanjut berupa evaluasi medis lebih lanjut. Implementasi ini membuktikan bahwa sistem tidak hanya mencatat data, tetapi juga mampu memberikan analisis klinis dasar secara otomatis.

#### 4.2.6 Implementasi Inputan Data Pasien pada Dashboard Dokter



Gambar 4.9 Tampilan Data Pasien pada Dashboard Dokter

Gambar di atas menunjukkan tampilan implementasi dashboard dokter dalam sistem monitoring Sleep Apnea. Dashboard ini berfungsi sebagai media untuk menampilkan data identitas pasien secara ringkas dan terstruktur. Informasi yang ditampilkan meliputi nama pasien, jenis kelamin, umur, serta nama dokter yang bertanggung jawab dalam proses pemeriksaan. Setiap data pasien juga dilengkapi dengan tombol aksi *Detail* yang memungkinkan dokter untuk melihat informasi hasil pemeriksaan secara menyeluruh dan terperinci.

Antarmuka ini dirancang dengan tampilan yang sederhana dan intuitif guna memudahkan dokter dalam mengakses informasi yang dibutuhkan. Navigasi dilakukan melalui menu di sisi kiri, yang mencakup akses ke halaman utama (*Home*) dan fitur *Logout* untuk menjaga keamanan data pengguna. Implementasi ini mendukung efisiensi kerja dokter dengan menyajikan informasi pasien secara cepat, serta memperkuat aspek keamanan dengan sistem login yang terautentifikasi.

Dengan demikian, dashboard ini menjadi salah satu komponen penting dalam menunjang proses diagnosis dan tindak lanjut medis berbasis data sensor yang terintegrasi.

#### 4.2.7 Implementasi Riwayat Data Pasien pada Dashboard Dokter

The screenshot shows a web browser window with the URL 'localhost:8000/pasien/1'. The page has a dark sidebar on the left labeled 'Dokter' with 'Home' and 'Logout' options. The main content area is titled 'Detail Pasien' and contains two sections: 'Informasi Umum' and 'Hasil Pemeriksaan'.

**Informasi Umum:**

- Nama: Lukas Hiromy
- Jenis Kelamin: L
- Umur: 21 tahun
- Dokter: Ali Baba

**Hasil Pemeriksaan:**

#	Mulai	Selesai	Durasi	REM (%)	NREM (%)	Apnea	Hypopnea	AHI	Grafik Pemeriksaan
1	2025-07-16 20:29:33	2025-07-16 21:30:14	1.01 jam	12%	40%	0	25	24.72	<a href="#">Lihat Grafik</a>
2	2025-07-18 13:33:05	2025-07-18 13:42:21	0.15 jam	0%	8%	0	0	0.00	<a href="#">Lihat Grafik</a>
3	2025-07-18 14:57:05	2025-07-18 15:05:24	0.14 jam	1%	0%	0	0	0.00	<a href="#">Lihat Grafik</a>
4	2025-07-18 15:28:54	2025-07-18 16:28:57	1.00 jam	11%	0%	0	0	0.00	<a href="#">Lihat Grafik</a>

[Kembali ke Daftar Pasien](#)

Gambar 4.10 Tampilan Detail Riwayat Data Pasien pada Dashboard Dokter

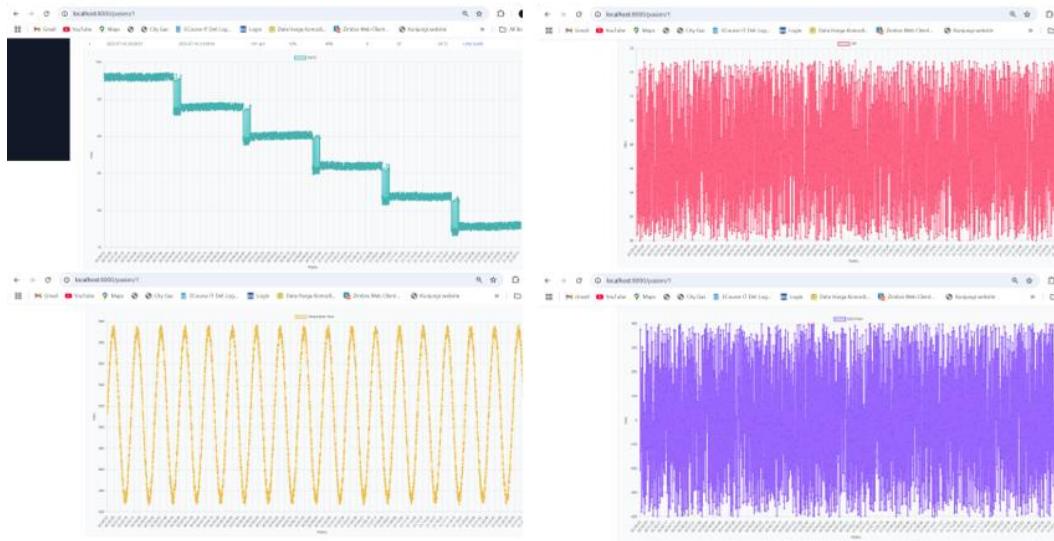
Gambar di atas menunjukkan tampilan halaman Detail Pasien yang dapat diakses oleh dokter melalui dashboard sistem. Halaman ini menampilkan informasi umum pasien seperti nama, jenis kelamin, umur, dan nama dokter yang bertanggung jawab. Di bawah informasi umum, terdapat tabel hasil pemeriksaan pasien yang disajikan dalam format terstruktur dan mudah dipahami.

Tabel hasil pemeriksaan mencakup beberapa parameter penting, antara lain waktu mulai dan selesai pemeriksaan, durasi tidur, persentase fase tidur REM dan NREM, jumlah episode apnea dan hypopnea, serta nilai AHI (*Apnea-Hypopnea Index*). Setiap baris mewakili satu sesi pemeriksaan pasien. Pada kolom terakhir, tersedia tautan lihat grafik yang memungkinkan dokter untuk mengakses visualisasi data sensor dari sesi pemeriksaan tersebut secara lebih mendalam.

Implementasi halaman ini memberikan kemudahan bagi dokter dalam memantau riwayat dan perkembangan kondisi pasien dari waktu ke waktu. Selain itu, integrasi antara data numerik dan grafik visual memperkuat proses evaluasi medis yang

berbasis data. Fitur ini juga mendukung pengambilan keputusan klinis secara cepat dan akurat berdasarkan hasil analisis sistem yang telah terekam sebelumnya.

#### 4.2.8 Implementasi Grafik Setelah Selesai Pemeriksaan Keseluruhan



Gambar 4.11 Tampilan Grafik Keseluruhan hasil Pemeriksaan Pasien

Gambar di atas memperlihatkan implementasi tampilan grafik yang digunakan untuk memvisualisasikan data sensor secara real-time selama proses pemeriksaan berlangsung. Grafik-grafik ini merupakan representasi langsung dari sinyal fisiologis yang dikirimkan oleh berbagai sensor, seperti EEG, pernapasan, dan lainnya. Visualisasi data secara real-time ini bertujuan untuk memberikan gambaran langsung mengenai kondisi pasien, serta memastikan bahwa proses akuisisi data berjalan dengan baik.

Grafik pada posisi kiri atas menunjukkan pola bertingkat yang kemungkinan menggambarkan perubahan fase tidur pasien, seperti transisi dari fase NREM ke REM. Grafik kanan atas dan kanan bawah menampilkan sinyal EEG mentah dengan frekuensi tinggi dan fluktuasi yang padat, yang merefleksikan aktivitas listrik otak pasien secara langsung. Adapun grafik kiri bawah memperlihatkan pola gelombang yang lebih teratur dan konsisten, yang dapat diidentifikasi sebagai data dari sensor pernapasan (piezoelektrik), menunjukkan siklus pernapasan pasien.

Implementasi grafik ini sangat penting dalam sistem monitoring karena memungkinkan tenaga medis atau pengguna untuk melakukan observasi kondisi pasien secara real-time. Selain itu, visualisasi ini juga dapat membantu dalam deteksi dini apabila terjadi gangguan atau anomali selama proses pemeriksaan. Dengan demikian, fitur grafik real-time ini memberikan nilai tambah dalam aspek pemantauan dan analisis data fisiologis secara cepat dan efisien.

### **4.3 Referensi Standar untuk Validasi Sensor**

Untuk melakukan validasi terhadap performa dan akurasi sensor yang digunakan, digunakan beberapa referensi standar dari literatur dan penelitian terdahulu. Standar ini menjadi acuan dalam menginterpretasikan data yang dihasilkan oleh sistem, serta menjadi dasar dalam proses perhitungan error dan penilaian hasil pengujian.

#### **4.3.1 Tabel Standar Sensor TGAM Brain Wave**

Tabel 4.1 Standar Sensor TGAM Brain Wave

Fase Tidur	Frekuensi Dominan	Rentang Frekuensi	Karakteristik EEG
NREM	Delta & Theta	0.1 – 7 Hz	Aktivitas lambat, gelombang besar, tidur dalam (deep sleep).
REM	Theta & Low Beta	4 – 30 Hz	Aktivitas otak mirip saat terjaga, mimpi, tubuh tidak bergerak.

Sensor TGAM digunakan untuk membaca sinyal EEG (Electroencephalogram) yang berfungsi untuk mengidentifikasi fase tidur pasien. Berdasarkan literatur, gelombang otak yang dihasilkan saat tidur dibagi menjadi dua fase utama, yaitu NREM dan REM. Fase NREM didominasi oleh gelombang delta dan theta dengan rentang frekuensi 0.1–7 Hz, yang menunjukkan kondisi tidur dalam. Sementara itu, fase REM memiliki aktivitas otak yang menyerupai kondisi terjaga, dengan gelombang theta hingga beta ringan (4–30 Hz), dan umumnya terjadi saat bermimpi.

### 4.3.2 Tabel Standar Sensor Piezoelektrik

a) Tabel Hasil Kalibrasi

Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi

Kategori	Amplitudo Threshold
Napas Normal	$\geq 0.5257$
Apnea	$< 0.2103$ selama $\geq 10$ detik

b) Tabel Pendektsian Total Apnea:

Tabel 4.3 Pendektsian Total Apnea

Kategori	Amplitudo Sinyal	Durasi	Keterangan
Napas Normal	$\geq 50\%$ dari amplitudo kalibrasi	2–5 detik/siklus	Aktivitas napas terdeteksi jelas, siklik teratur
Apnea	$< 20\%$ dari amplitudo kalibrasi	$\geq 10$ detik	Tidak ada sinyal napas berarti dalam durasi tertentu

Sensor piezoelektrik berfungsi untuk mendekksi pola pernapasan melalui amplitudo sinyal yang ditimbulkan oleh pergerakan dada. Untuk menentukan kondisi normal atau adanya apnea, digunakan ambang batas amplitudo sebagai hasil kalibrasi. Napas normal ditunjukkan dengan amplitudo  $\geq 0.5257$ , sedangkan kondisi apnea didefinisikan dengan amplitudo  $< 0.2103$  yang berlangsung selama minimal 10 detik. Selain itu, berdasarkan literatur, aktivitas napas juga dianalisis dari durasi dan bentuk siklus pernapasan. Napas normal berlangsung 2–5 detik dengan amplitudo  $\geq 50\%$  dari nilai kalibrasi, sedangkan apnea ditandai dengan durasi  $\geq 10$  detik dan amplitudo  $< 20\%$ .

### 4.3.3 Tabel Standar Sensor MAX32102

Tabel 4.4 Standar Sensor MAX32102

Kategori	Amplitudo Sinyal	Durasi	Keterangan
Napas Normal	Stabil di $\geq 95\%$	-	Tidak ada penurunan signifikan
Hypopnea	Turun $\geq 3\%$ dari baseline	$\geq 10$ detik	Indikasi episode hypopnea menurut AASM

Sensor MAX30102 digunakan untuk mengukur dua parameter utama, yaitu saturasi oksigen ( $\text{SpO}_2$ ) dan detak jantung (BPM). Rentang nilai normal untuk  $\text{SpO}_2$  adalah  $\geq 95\%$ . Penurunan kadar oksigen  $\geq 3\%$  dari nilai dasar yang terjadi selama  $\geq 10$  detik dapat menunjukkan adanya gangguan pernapasan seperti hypopnea. Untuk detak jantung, nilai normal berkisar antara 60–100 BPM pada kondisi istirahat. Nilai di luar rentang ini dapat mengindikasikan adanya kondisi abnormal yang perlu diperhatikan dalam konteks analisis kesehatan pasien.

### 4.3.4 Tabel AHI (Apnea Hypopnea Index)

Tabel 4.5 Standar AHI

Nilai AHI/Jam	Kategori
< 5	Normal
> 5 dan < 15	Ringan
> 15 dan < 30	Sedang
> 30	Berat

AHI merupakan parameter yang sangat penting dalam diagnosis sleep apnea. Nilai AHI dihitung berdasarkan jumlah episode apnea dan hypopnea per jam tidur. Berdasarkan American Academy of Sleep Medicine (AASM), AHI  $< 5$  dianggap normal, 5–14 termasuk dalam kategori ringan, 15–29 masuk kategori sedang, dan  $\geq 30$  dikategorikan sebagai sleep apnea berat. Nilai ini menjadi acuan utama dalam menilai tingkat keparahan gangguan tidur yang dialami oleh pasien.

### 4.3.5 Tabel Standar Aktivitas Tidur

Tabel 4.6 Standar Fase Tidur

Fase REM	Fase NREM	Keterangan
< 20%	< 75%	Kurangnya Kedua Fase Tidur Menandakan Adanya Gangguan Tidur
< 20%	75%-80%	Kurang Fase REM Disebabkan Masalah Pada Apnea
< 20%	> 80%	Kurang Fase REM Disebabkan Masalah Pada Apnea, NREM Lebih Bisa Disebabkan Karena Pemulihan Fisik
> 25%	< 75%	REM Lebih, NREM kurang. Bisa tanda ketidakseimbangan tidur atau gangguan mimpi.
20%-25%	75%-80%	Proporsi normal. Pola tidur seimbang dan sehat.

Keseimbangan antara fase tidur REM dan NREM menjadi indikator kualitas tidur yang baik. Berdasarkan referensi, proporsi tidur normal adalah 20–25% untuk REM dan 75–80% untuk NREM. Ketidakseimbangan pada proporsi ini dapat menunjukkan adanya gangguan, seperti kurangnya fase REM akibat sleep apnea atau dominasi NREM karena pemulihan fisik ekstrem. Evaluasi proporsi tidur ini dilakukan dengan menganalisis data dari sensor EEG secara menyeluruh.

### 4.3.6 Tabel Standar Hasil (Berdasarkan Tabel AHI dan Aktivitas Tidur)

Tabel 4.7 Standar Hasil (Berdasarkan Tabel AHI dan Aktivitas Tidur)

Fase REM	Fase NREM	Nilai AHI/Jam	Kategori AHI
< 20%	75% - 80%	≥ 5 dan < 15	Ringan
< 20%	75%-80%	≥ 15 dan < 30	Sedang
< 20%	< 75%	≥ 30	Berat
20%-25%	75%-80%	< 5	Normal

Selain mengevaluasi masing-masing parameter secara terpisah, penelitian ini juga menggunakan kombinasi antara proporsi fase tidur dan nilai AHI untuk memperkuat interpretasi akhir. Sebagai contoh, jika proporsi REM < 20% dan AHI

berada pada rentang 15–30, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai sleep apnea sedang. Kombinasi indikator ini memungkinkan sistem menghasilkan kesimpulan yang lebih akurat dalam menilai kondisi tidur pasien secara menyeluruh.

#### **4.4 Pengujian Akurasi dan Validasi Prototipe**

Pada sub bab ini berisi tentang pengujian prototipe terhadap implementasi yang telah dilakukan untuk melihat dan memastikan bahwa perangkat yang telah dibangun dapat berjalan dengan baik. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian terhadap alat yang dirancang.

Untuk menilai tingkat akurasi sensor yang digunakan dalam pengujian, beberapa rumus perhitungan error digunakan sebagai referensi. Rumus-rumus ini dirancang untuk mengevaluasi perbedaan antara hasil pengukuran sensor dengan nilai standar yang dihasilkan oleh oximeter sebagai perangkat referensi.

##### **1. Rumus Selisih**

$$\boxed{\text{Selisih} = \text{Alat yang dibuat} - \text{Jam Pintar}}$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung perbedaan langsung antara nilai pengukuran sensor dengan nilai referensi yang dihasilkan oleh jam pintar. Selisih yang dihasilkan memberikan gambaran tentang tingkat deviasi absolut antara kedua perangkat tersebut. Nilai selisih yang kecil menunjukkan bahwa perangkat yang dibuat memiliki hasil pengukuran yang mendekati nilai referensi, sedangkan nilai selisih yang besar menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan yang perlu dianalisis lebih lanjut.

##### **2. Rumus Persen Error**

$$\boxed{\% \text{Error} = \left( \frac{\text{Selisih}}{\text{Jam Pintar Standart}} \right) \times 100\%}$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung tingkat kesalahan relatif dalam bentuk persentase. Persen error menunjukkan seberapa besar perbedaan hasil

pengukuran sensor dibandingkan dengan perangkat referensi, dengan mempertimbangkan proporsinya terhadap nilai standar. Nilai persen error yang lebih kecil mengindikasikan bahwa perangkat memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, sedangkan nilai yang besar menunjukkan adanya perbedaan signifikan yang perlu diperbaiki, misalnya melalui kalibrasi ulang atau peningkatan algoritma pemrosesan data.

### 3. Rumus Rata-rata Persen Error

$$\text{Rata - rata Persen Error} = \frac{\sum(\% \text{Error})}{\text{Jumlah data}}$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung rata-rata kesalahan relatif dari beberapa kali pengukuran. Dalam pengujian yang melibatkan banyak data, nilai rata-rata persen error memberikan gambaran umum mengenai akurasi keseluruhan dari sensor yang diuji. Dengan menggunakan rata-rata, dapat diketahui pola kesalahan yang konsisten, serta apakah perangkat sudah sesuai dengan standar yang diharapkan.

Penggunaan ketiga rumus ini memberikan metode analisis yang sistematis untuk mengevaluasi keandalan perangkat yang dikembangkan. Dengan menghitung selisih, persen error, dan rata-rata persen error, dapat dilakukan analisis mendalam terhadap data yang dihasilkan, sehingga memberikan informasi penting untuk meningkatkan performa dan akurasi perangkat. Proses ini menjadi bagian yang sangat penting dalam memastikan bahwa sistem pemantauan yang dirancang dapat memberikan hasil yang valid dan dapat diandalkan untuk mendukung aplikasi kesehatan, khususnya dalam memantau kondisi pasien.

## 4.5 Pengujian oleh Setiap Sensor

### 4.5.1 MAX30102 untuk Mendeteksi Detak Jantung

Bagian ini menjelaskan proses pengujian sensor MAX30102 yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur detak jantung.

Tabel 4.8 Pengujian Sensor MAX30102 untuk Mendeteksi Detak Jantung

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)
1		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 77.81 bpm Average Sp02: 98.12% Updated Baseline Heart Rate: 77.81 bpm Updated Baseline Sp02: 98.12%</pre>
2		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 77.47 bpm Average Sp02: 97.61% Updated Baseline Heart Rate: 77.78 bpm Updated Baseline Sp02: 98.07%</pre>

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)
4		<pre> --- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.67 bpm Average SpO2: 97.78% Updated Baseline Heart Rate: 78.14 bpm Updated Baseline SpO2: 98.02% -----</pre>
5		<pre> --- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.78 bpm Average SpO2: 97.84% Updated Baseline Heart Rate: 78.31 bpm Updated Baseline SpO2: 98.00% -----</pre>
6		<pre> --- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 78.87 bpm Average SpO2: 98.21% Updated Baseline Heart Rate: 78.36 bpm Updated Baseline SpO2: 98.02% -----</pre>

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)
7		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.60 bpm Average SpO2: 98.19% Updated Baseline Heart Rate: 78.59 bpm Updated Baseline SpO2: 98.04%</pre>
8		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.25 bpm Average SpO2: 98.26% Updated Baseline Heart Rate: 78.65 bpm Updated Baseline SpO2: 98.06%</pre>
9		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.82 bpm Average SpO2: 98.16% Updated Baseline Heart Rate: 78.77 bpm Updated Baseline SpO2: 98.07%</pre>

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)
10		<pre> --- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.25 bpm Average SpO2: 97.42% Updated Baseline Heart Rate: 78.92 bpm Updated Baseline SpO2: 98.01% -----</pre>

Pengujian BPM dilakukan dengan pasien menempatkan jarinya pada sensor MAX30102 dan jam pintar secara bersamaan untuk memastikan konsistensi data. Agar hasil pengukuran akurat, pasien harus menjaga jari tetap stabil dan terpasang dengan baik pada sensor selama proses berlangsung. Pengukuran dilakukan setiap menit selama 10 menit untuk mengamati perubahan detak jantung secara bertahap.

Data dari sensor MAX30102 dibaca untuk dibandingkan dengan jam pintar sebagai referensi. Nilai detak jantung yang berada dalam rentang 60 bpm - 100 bpm dianggap menunjukkan kondisi normal, sedangkan nilai di luar rentang ini dapat menunjukkan adanya gangguan kesehatan yang perlu dianalisis lebih lanjut.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Detak Jantung

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)	Selisih	Error (%)
1	77	77,81	0,81	1
2	76	77,47	1,47	1
3	76	78,60	2,60	3
4	76	80,67	4,67	6
5	77	79,79	2,79	3
6	74	78,87	4,87	6

Menit ke-	Pengukuran BPM (Jam Pintar)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)	Selisih	Error (%)
7	80	80,60	0,60	0,7
8	80	79,25	1,25	1
9	79	79,82	0,82	1
10	75	80,25	5,25	7
Rata - rata				2,97

Tabel ini menunjukkan hasil pengujian detak jantung (BPM) yang dibandingkan antara jam pintar sebagai perangkat referensi dan sensor MAX30102 selama 10 menit. Data meliputi pengukuran BPM dari kedua perangkat, selisih antara keduanya, dan tingkat error dalam persen. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor MAX30102 dalam mendeteksi detak jantung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki rata-rata error sebesar 2,97%, yang mencerminkan tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi kesehatan. Selisih antara pengukuran kedua perangkat bervariasi, dengan error tertinggi sebesar 7% pada menit ke-10 dan error terendah sebesar 0,7% pada menit ke-7. Meskipun hasil ini menunjukkan keandalan sensor MAX30102, pengujian lebih lanjut dalam kondisi yang berbeda diperlukan untuk memastikan kinerja yang konsisten dan optimal.

#### 4.5.2 Pengujian Sensor MAX30102 untuk Menghitung Kadar Oksigen

Tabel 4.10 Pengujian Sensor MAX30102 untuk Menghitung Kadar Oksigen

Menit ke-	Pengukuran Sp02 (Oximeter/Jam)	Pengukuran BPM (Sensor MAX30102)
1		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 77.81 bpm Average Sp02: 98.12% Updated Baseline Heart Rate: 77.81 bpm Updated Baseline Sp02: 98.12%</pre>
2		<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 77.47 bpm Average Sp02: 97.61% Updated Baseline Heart Rate: 77.78 bpm Updated Baseline Sp02: 98.07%</pre>

Meni t ke-	Pengukuran Sp02 (Oximeter/Jam)	Pengukuran Sp02 (Sensor MAX30102)
3	 <p>SpO2 ⓘ Baru saja Denyut jantung 74 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 78.60 bpm Average Sp02: 97.83% Updated Baseline Heart Rate: 77.86 bpm Updated Baseline Sp02: 98.05%</pre>
4	 <p>SpO2 ⓘ Baru saja Denyut jantung 76 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.67 bpm Average Sp02: 97.78% Updated Baseline Heart Rate: 78.14 bpm Updated Baseline Sp02: 98.02%</pre>
5	 <p>SpO2 ⓘ Baru saja Denyut jantung 77 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.78 bpm Average Sp02: 97.84% Updated Baseline Heart Rate: 78.31 bpm Updated Baseline Sp02: 98.00%</pre>

Meni t ke-	Pengukuran Sp02 (Oximeter/Jam)	Pengukuran Sp02 (Sensor MAX30102)
6	 <p>SpO2 ① Baru saja Denyut jantung 77 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 78.87 bpm Average SpO2: 98.21% Updated Baseline Heart Rate: 78.36 bpm Updated Baseline SpO2: 98.02%</pre>
7	 <p>SpO2 ① Baru saja Denyut jantung 73 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.60 bpm Average SpO2: 98.19% Updated Baseline Heart Rate: 78.59 bpm Updated Baseline SpO2: 98.04%</pre>
8	 <p>SpO2 ① Baru saja Denyut jantung 72 bpm 100% 95% 90% 00:00 12:00 24:00 Ukur lagi</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.25 bpm Average SpO2: 98.26% Updated Baseline Heart Rate: 78.65 bpm Updated Baseline SpO2: 98.06%</pre>

Meni t ke-	Pengukuran Sp02 (Oximeter/Jam)	Pengukuran Sp02 (Sensor MAX30102)
9	 <p>The smartwatch screen shows the SpO2 level at 95% and the heart rate at 75 bpm. Below the main data, there is a small green bar graph representing the heart rate over a 24-hour period, with markers for 00:00, 12:00, and 24:00. A button labeled "Ukur lagi" is visible at the bottom.</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 79.82 bpm Average SpO2: 98.16% Updated Baseline Heart Rate: 78.77 bpm Updated Baseline SpO2: 98.07%</pre>
10	 <p>The smartwatch screen shows the SpO2 level at 95% and the heart rate at 72 bpm. Below the main data, there is a small green bar graph representing the heart rate over a 24-hour period, with markers for 00:00, 12:00, and 24:00. A button labeled "Ukur lagi" is visible at the bottom.</p>	<pre>--- 1 Minute Summary --- Average Heart Rate: 80.25 bpm Average SpO2: 97.42% Updated Baseline Heart Rate: 78.92 bpm Updated Baseline SpO2: 98.01%</pre>

Pengukuran SpO2 dilakukan dengan menempatkan jari pada sensor untuk mendeteksi kadar oksigen dalam darah selama 10 menit. Agar hasil pengukuran akurat, pasien harus memastikan jarinya terpasang dengan baik dan tetap stabil pada sensor sepanjang percobaan. Sensor akan membaca kadar oksigen dalam darah berdasarkan perubahan penyerapan cahaya yang melewati jaringan tubuh. Data hasil pengukuran ditampilkan setiap satu menit untuk memantau perubahan kadar oksigen secara real-time. Rentang nilai SpO2 yang dianggap normal adalah 95% - 100%, menunjukkan kadar oksigen darah pasien dalam kondisi baik. Percobaan ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas dan konsistensi sensor dalam mendeteksi kadar oksigen selama periode waktu tertentu.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Oksigen

<b>Menit ke-</b>	<b>Pengukuran Sp02 (Jam Pintar)</b>	<b>Pengukuran Sp02 (Sensor MAX30102)</b>	<b>Selisih</b>	<b>Error (%)</b>
1	95	98,12	3,12	3
2	97	97,61	0,61	0,6
3	96	97,83	1,83	1
4	95	97,78	2,78	2
5	95	98,84	3,84	4
6	95	98,21	3,21	3
7	95	98,19	3,19	3
8	96	98,26	2,26	2
9	95	98,16	3,16	3
10	95	98,42	3,42	3
Rata - rata				2,46 %

Tabel ini menyajikan hasil pengukuran SpO2 (kadar oksigen dalam darah) yang dilakukan selama 10 menit menggunakan dua perangkat, yaitu jam pintar dan sensor MAX30102. Data mencatat hasil pengukuran setiap menit, dengan perhitungan selisih antara kedua perangkat dan persentase error untuk mengevaluasi akurasi pengukuran sensor MAX30102.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki rata-rata error sebesar 2,46%, yang menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur kadar oksigen dibandingkan dengan jam pintar. Selisih antara pengukuran kedua perangkat bervariasi, dengan error tertinggi sebesar 4% pada menit ke-5 dan error terendah sebesar 0,6% pada menit ke-2. Meskipun terdapat perbedaan, hasil ini mengindikasikan bahwa sensor MAX30102 dapat diandalkan untuk pengukuran kadar oksigen dalam darah dengan akurasi yang cukup stabil dan dapat digunakan untuk pemantauan kesehatan dalam aplikasi berbasis IoT.

#### 4.5.3 Pengujian Sensor Piezoelectric untuk Menghitung Laju Pernafasan

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Sensor Piezoelectric

<b>Menit ke-</b>	<b>Penghitungan Laju Pernafasan dengan Sensor</b>	<b>Penghitungan Laju Pernafasan secara Manual</b>
1	12	12
2	12	13
3	10	10
4	10	13
5	5	12
6	9	12
7	11	12
8	7	11
9	7	11
10	10	11

Tujuan dari perhitungan manual dan menggunakan sensor untuk mengukur laju pernafasan adalah untuk membandingkan akurasi dan keandalan kedua metode tersebut. Perhitungan manual berfungsi sebagai referensi atau standar yang dapat digunakan untuk mengevaluasi hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor. Dengan menggunakan sensor, pengukuran laju pernafasan dapat dilakukan secara otomatis dan lebih praktis, tanpa perlu melakukan perhitungan secara langsung seperti pada metode manual.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun terdapat beberapa perbedaan antara kedua metode, perbedaan tersebut tidak terlalu besar. Ini menunjukkan bahwa sensor dapat diandalkan untuk mengukur laju pernafasan dengan tingkat akurasi yang baik. Namun, perhitungan manual tetap diperlukan untuk memverifikasi keakuratan hasil sensor, serta untuk memastikan bahwa pengukuran yang dilakukan sesuai dengan nilai yang benar. Dengan demikian, penggunaan sensor mempermudah dan mempercepat proses pengukuran, sementara perhitungan manual tetap berfungsi sebagai metode kontrol untuk memastikan hasil yang valid.

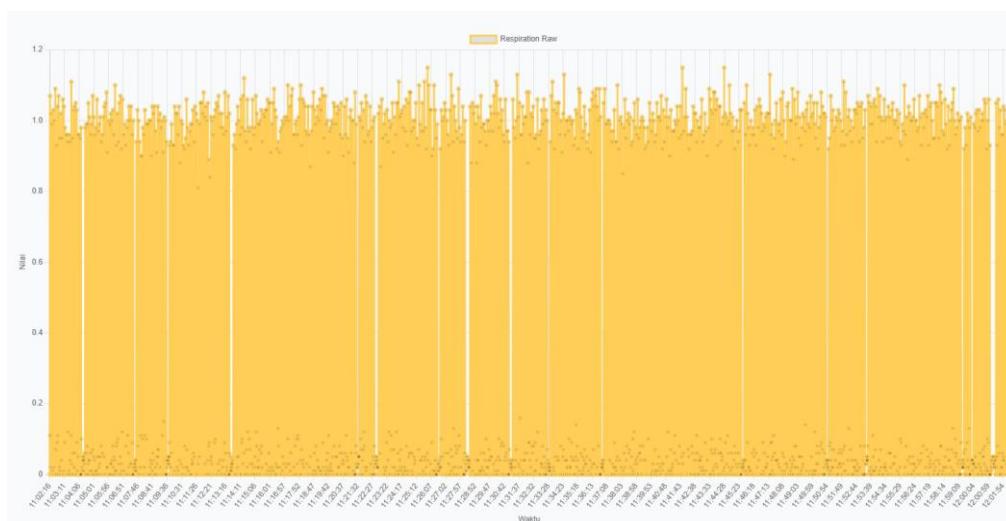
## 4.6 Hasil Pengujian

Hasil pengujian akan dilakukan untuk mengevaluasi hasil kerja dari sistem dalam mendeteksi gangguan sleep apnea berdasarkan data sensor yang diimplementasikan. Subbab ini memaparkan data hasil data pemeriksaan serta interpretasi berdasarkan nilai *Apnea Hypopnea Index* (AHI).

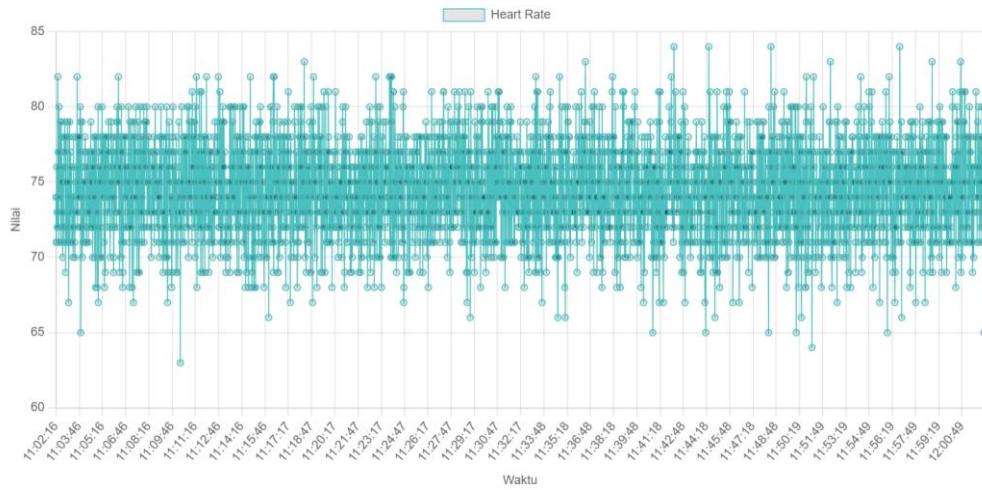
### 4.6.1 Hasil Pengujian Sistem Deteksi Sleep Apnea

Pengujian dilakukan terhadap empat subjek atau empat kategori untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi gangguan tidur sleep apnea berdasarkan kombinasi pembacaan sensor fisiologis dan pemrosesan data. Setiap subjek diperiksa selama 1 jam menggunakan sistem yang telah dirancang, yang mengintegrasikan sensor detak jantung dan kadar oksigen (MAX30102), sensor gelombang otak (TGAM), serta sensor pernapasan (Piezoelectric).

#### 1. Testing Kategori Berat



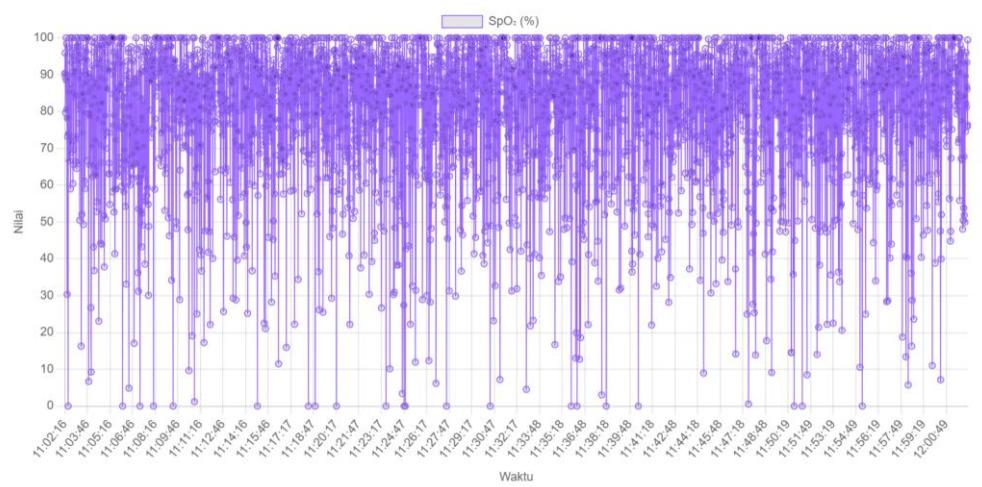
Gambar 4.12 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Berat

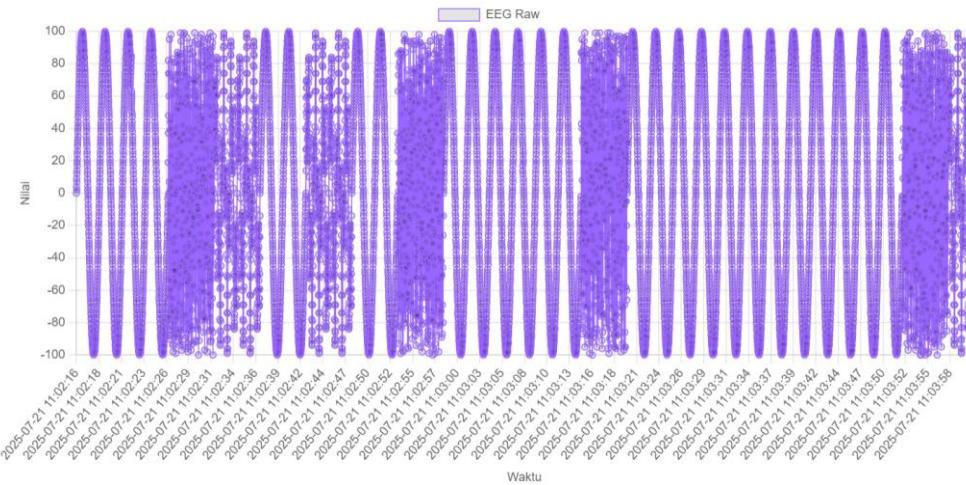


Gambar 4.13 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Berat

**Heart Rate Summary****HR Terbaru:** 65**HR Max:** 84**HR Min:** 63**HR Avg:** 74.51

Gambar 4.14 Data Sensor Heart Rate Kategori Berat

Gambar 4.15 Grafik Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Berat**SpO<sub>2</sub> Summary****SpO<sub>2</sub> Terbaru:** 99.44**SpO<sub>2</sub> Max:** 100**SpO<sub>2</sub> Min:** 0**SpO<sub>2</sub> Avg:** 80.66Gambar 4.16 Data Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Berat



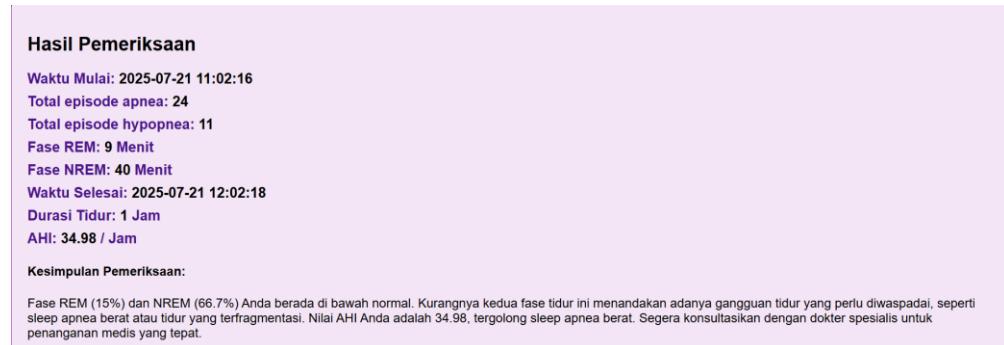
Gambar 4.17 Grafik Sensor EEG Kategori Berat

**EEG Summary**

**Gelombang Dominan:** gamma  
**Delta:** 24.6%  
**Theta:** 5%

**Gamma:** 61.8%  
**Beta:** 7.2%  
**Alpha:** 1.4%

Gambar 4.18 Data Sensor EEG Kategori Berat



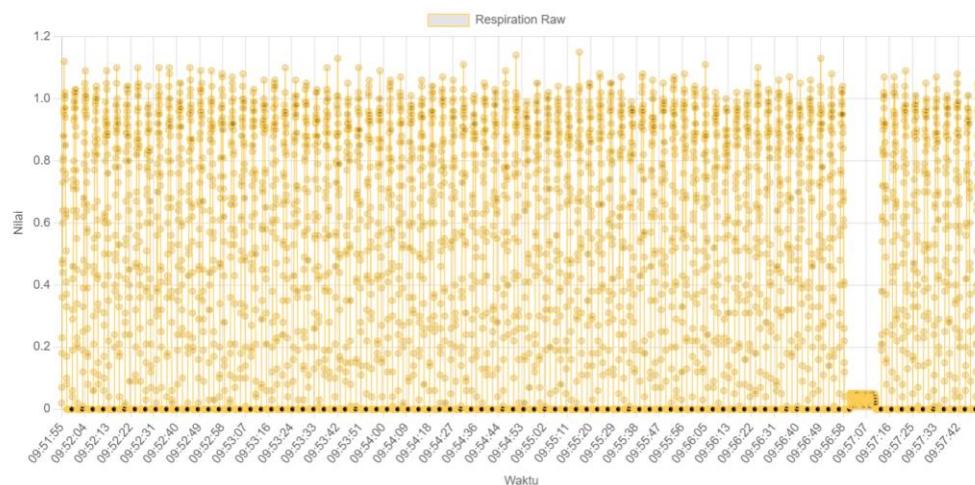
Gambar 4.19 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Berat

Pada testing yang telah dilakukan pada grafik diatas menunjukkan hasil pengujian pada pasien dengan kategori sleep apnea berat. Biasanya grafik atau data yang ditampilkan mencerminkan:

- Frekuensi napas tidak stabil
- Denyut jantung berfluktuasi
- Saturasi oksigen ( $\text{SpO}_2$ ) sering turun

- Aktivitas EEG (otak) menunjukkan gangguan tidur  
Kategori ini ditandai dengan nilai AHI (Apnea-Hypopnea Index) di atas 30.

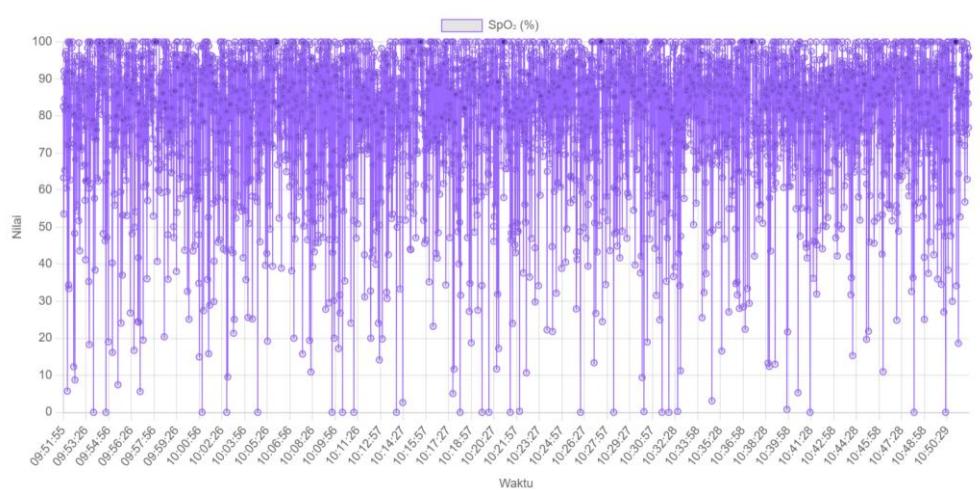
## 2. Testing Kategori Sedang



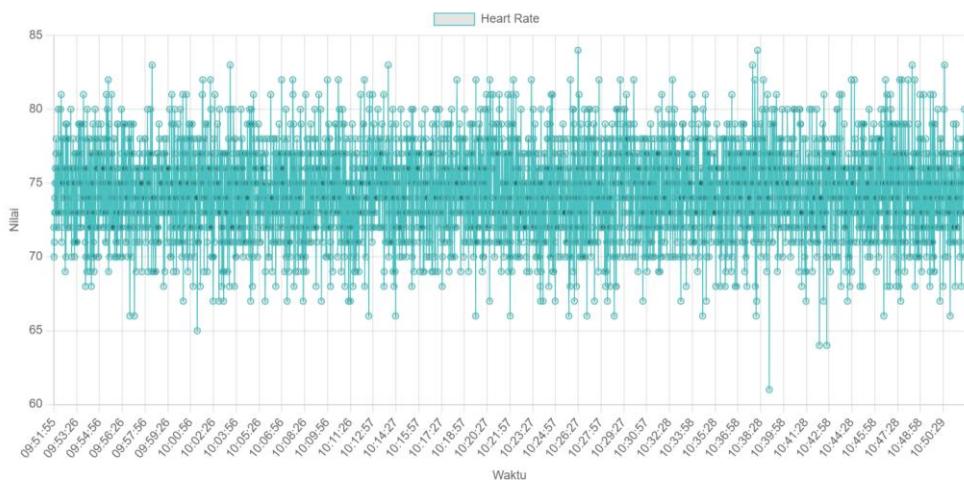
Gambar 4.20 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Sedang

**Respiration Summary**  
**Respiration Terbaru:** 14.7      **Respiration Max:** 14.78  
**Respiration Min:** 11.77      **Respiration Avg:** 14.07

Gambar 4.21 Data Sensor Pernafasan Kategori Sedang



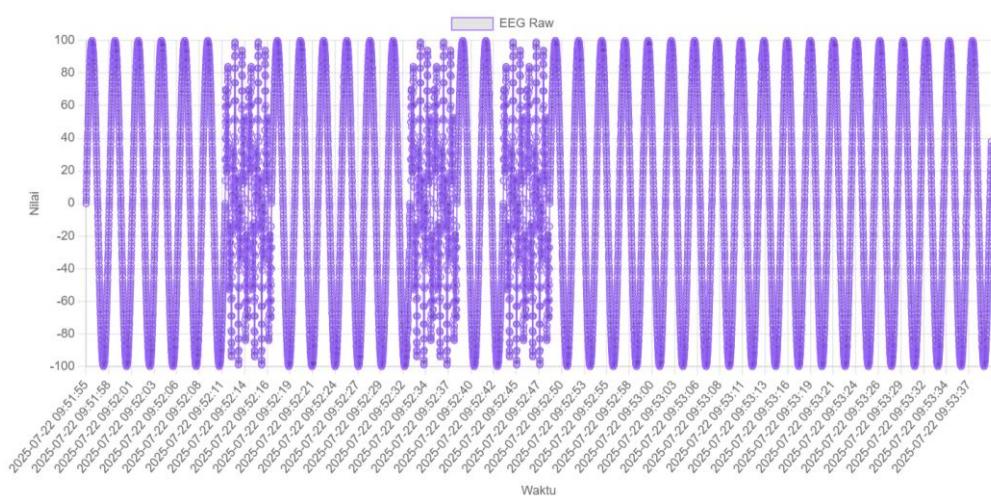
Gambar 4.22 Grafik Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Sedang

**SpO<sub>2</sub> Summary****SpO<sub>2</sub> Terbaru:** 90.72**SpO<sub>2</sub> Max:** 100**SpO<sub>2</sub> Min:** 0**SpO<sub>2</sub> Avg:** 80.29Gambar 4.23 Data Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Sedang

Gambar 4.24 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Sedang

**Heart Rate Summary****HR Terbaru:** 73**HR Max:** 84**HR Min:** 61**HR Avg:** 74.39

Gambar 4.25 Data Sensor Heart Rate Kategori Sedang

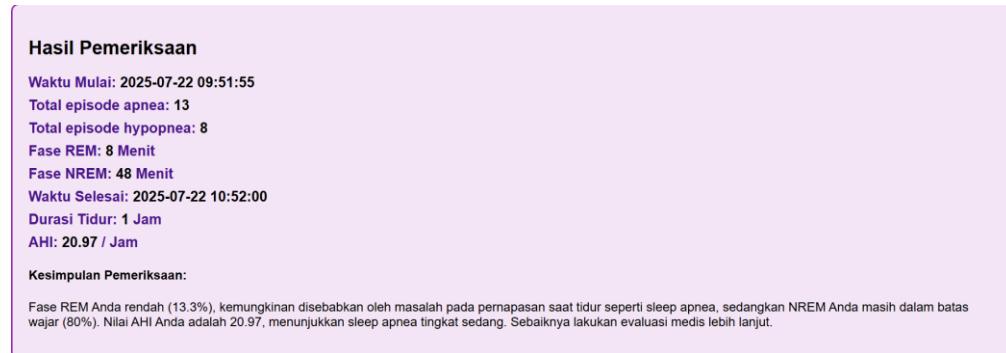


Gambar 4.26 Grafik Sensor EEG Kategori Sedang

**EEG Summary**

<b>Gelombang Dominan:</b> delta	<b>Delta:</b> 44.1%
<b>Gamma:</b> 43.1%	<b>Beta:</b> 6.4%
<b>Theta:</b> 5.5%	<b>Alpha:</b> 1%

Gambar 4.27 Data Sensor EEG Kategori Sedang

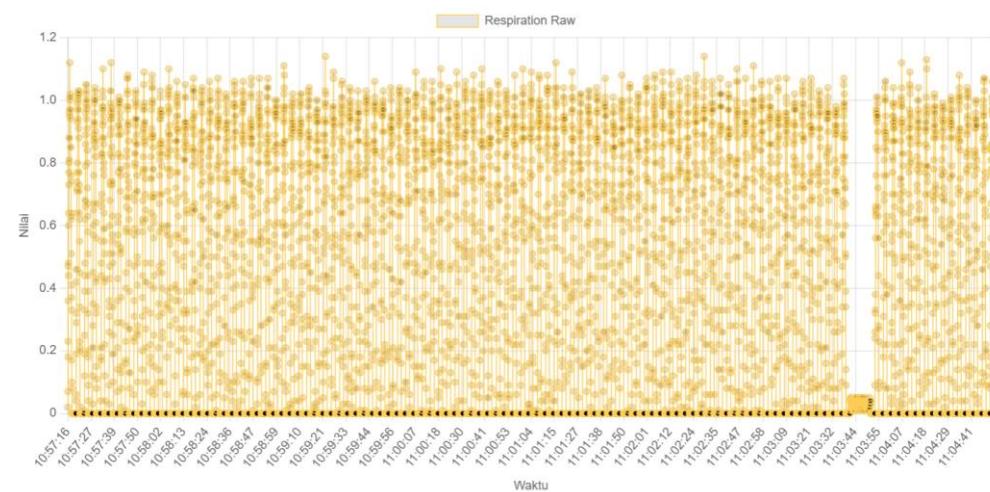


Gambar 4.28 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Sedang

Pada testing yang telah dilakukan pada grafik diatas menampilkan hasil tes pasien dengan kategori sleep apnea sedang. Data biasanya menunjukkan:

- Beberapa gangguan pernapasan saat tidur
  - Penurunan kadar oksigen, tapi tidak sesering kategori berat
  - Aktivitas EEG yang mulai terganggu, namun tidak terlalu ekstrem
- Kategori ini memiliki nilai AHI antara 15–30.

### 3. Testing Kategori Ringan

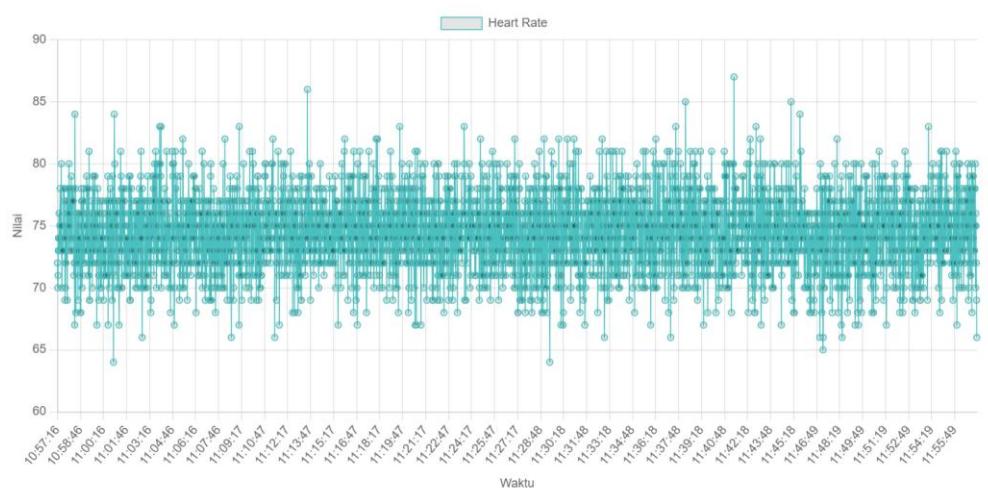


Gambar 4.29 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Ringan

Tanggal: 2025-07-22 10:57:16 - 2025-07-22 11:57:20  
 Durasi: 1.00 jam

<b>Respiration Summary</b>	
<b>Respiration Terbaru:</b> 14.78	<b>Respiration Max:</b> 14.82
<b>Respiration Min:</b> 11.83	<b>Respiration Avg:</b> 14.59

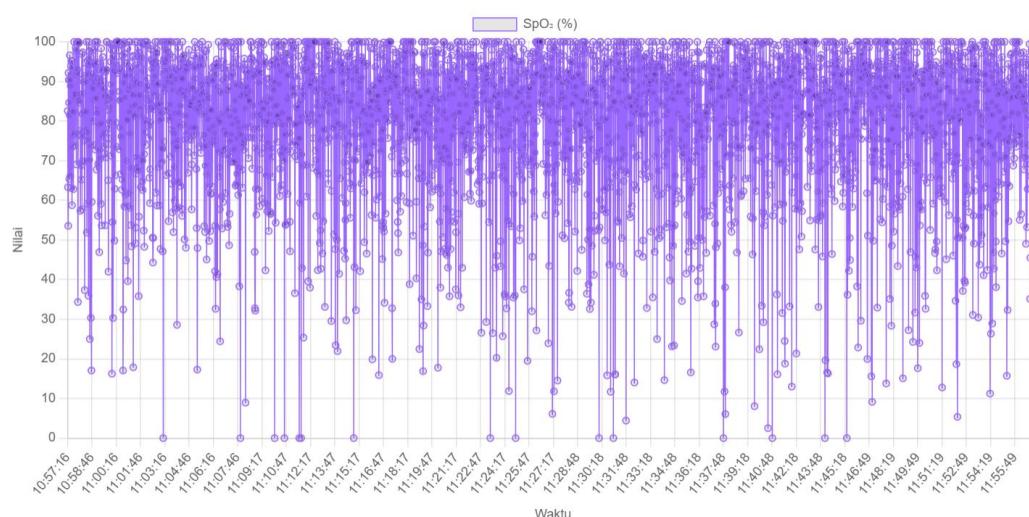
Gambar 4.30 Data Sensor Pernafasan Kategori Ringan



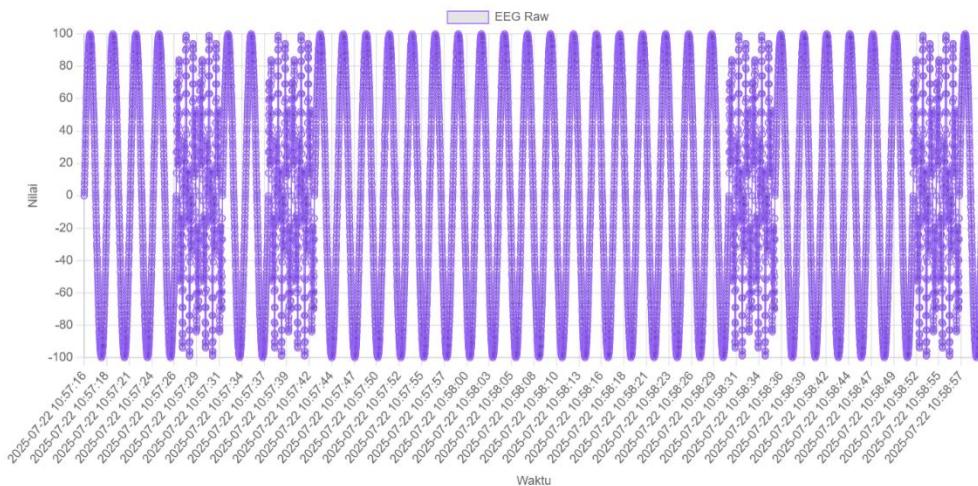
Gambar 4.31 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Ringan

<b>Heart Rate Summary</b>	
<b>HR Terbaru:</b> 66	<b>HR Max:</b> 87
<b>HR Min:</b> 64	<b>HR Avg:</b> 74.47

Gambar 4.32 Data Sensor Heart Rate Kategori Ringan



Gambar 4.33 Grafik Sensor SpO2 Kategori Ringan

**SpO<sub>2</sub> Summary****SpO<sub>2</sub> Terbaru:** 80.75**SpO<sub>2</sub> Max:** 100**SpO<sub>2</sub> Min:** 0**SpO<sub>2</sub> Avg:** 80.04**Gambar 4.34 Data Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Ringan****Gambar 4.35 Grafik Sensor EEG Kategori Ringan****EEG Summary****Gelombang Dominan:** gamma**Gamma:** 50.7%**Delta:** 36.6%**Beta:** 6.5%**Theta:** 5%**Alpha:** 1.2%**Gambar 4.36 Data Sensor EEG Kategori Ringan****Hasil Pemeriksaan**

Waktu Mulai: 2025-07-22 10:57:16

Total episode apnea: 4

Total episode hypopnea: 3

Fase REM: 9 Menit

Fase NREM: 45 Menit

Waktu Selesai: 2025-07-22 11:57:20

Durasi Tidur: 1 Jam

AHI: 6.99 / Jam

**Kesimpulan Pemeriksaan:**

Fase REM Anda rendah (15%), kemungkinan disebabkan oleh masalah pada pernapasan saat tidur seperti sleep apnea, sedangkan NREM Anda masih dalam batas wajar (75%). Nilai AHI Anda adalah 6.99, termasuk kategori sleep apnea ringan. Disarankan memantau gejala lebih lanjut dan mempertahankan pola hidup sehat.

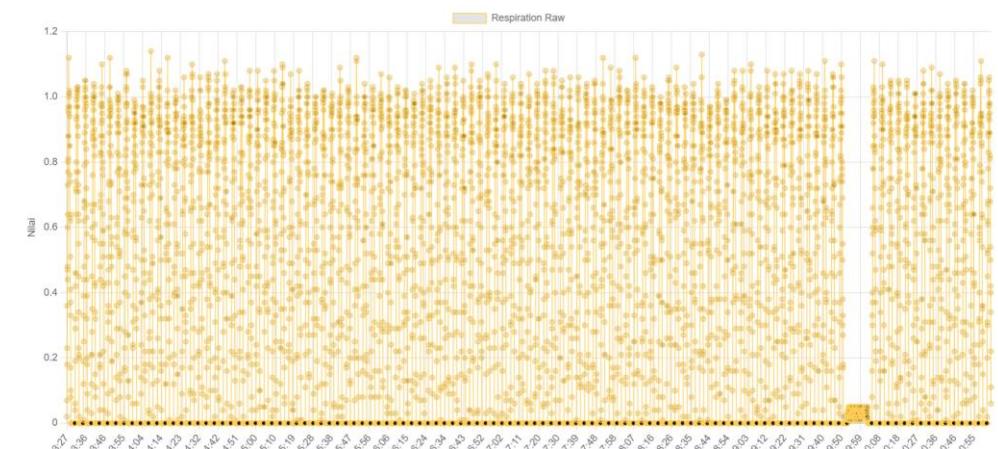
**Gambar 4.37 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Ringan**

Pada testing yang telah dilakukan pada grafik diatas menampilkan data pasien dengan kategori sleep apnea ringan. Tampilan grafik menunjukkan:

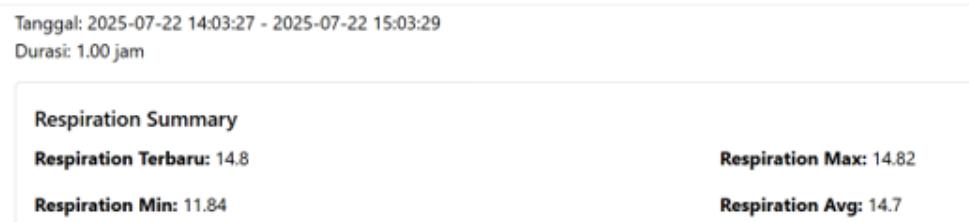
- Gangguan napas yang masih jarang terjadi

- Denyut jantung dan saturasi oksigen relatif stabil
  - Fase tidur relatif tidak terlalu terganggu
- Kategori ini memiliki nilai AHI antara 5–15.

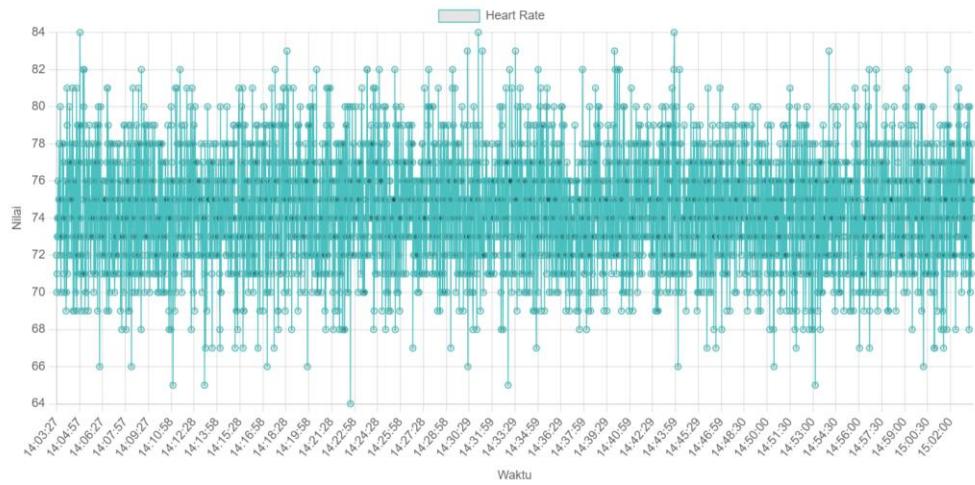
#### 4. Testing Kategori Normal



Gambar 4.38 Grafik Sensor Pernafasan Kategori Normal



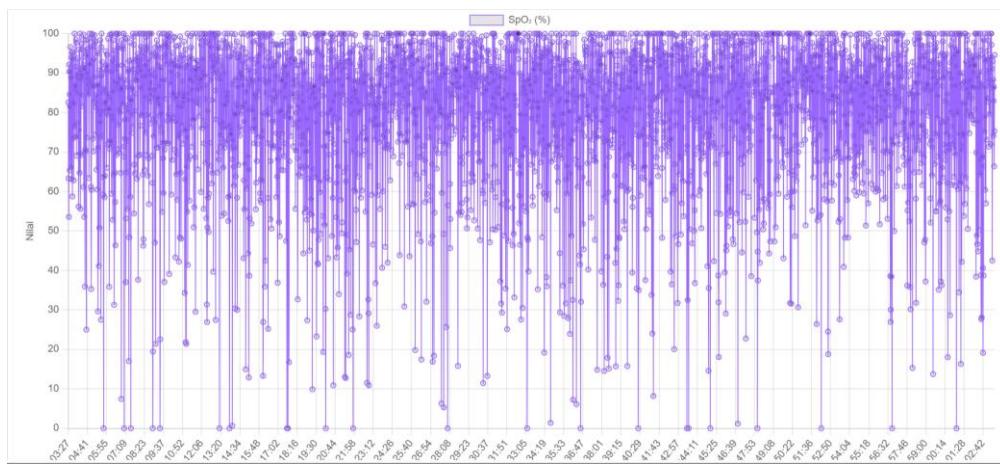
Gambar 4.39 Data Sensor Pernafasan Kategori Normal



Gambar 4.40 Grafik Sensor Heart Rate Kategori Normal

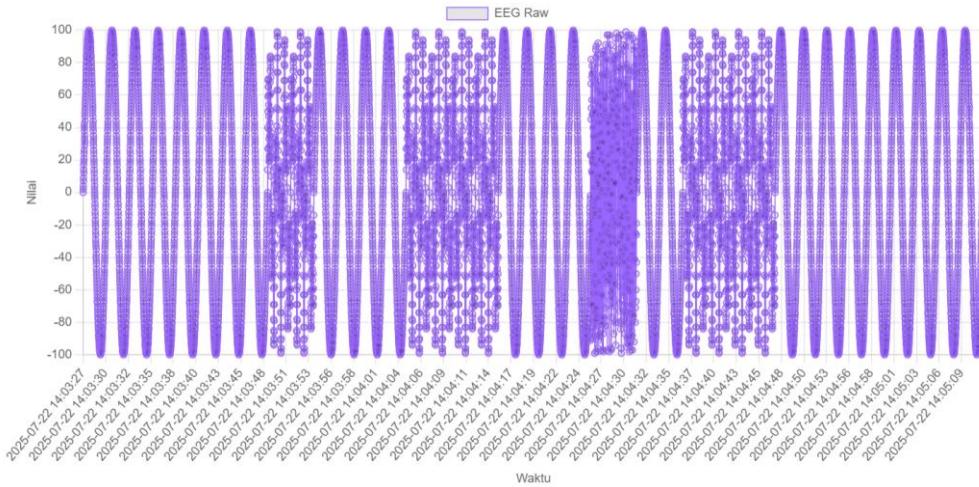
**Heart Rate Summary**  
**HR Terbaru:** 75      **HR Max:** 84  
**HR Min:** 64      **HR Avg:** 74.45

Gambar 4.41 Data Sensor Heart Rate Kategori Normal

Gambar 4.42 Grafik Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Normal

**SpO<sub>2</sub> Summary**  
**SpO<sub>2</sub> Terbaru:** 94.58      **SpO<sub>2</sub> Max:** 100  
**SpO<sub>2</sub> Min:** 0      **SpO<sub>2</sub> Avg:** 80  
**Tampilkan Grafik:** Tampilkan ▾

Gambar 4.43 Data Sensor SpO<sub>2</sub> Kategori Normal



Gambar 4.44 Grafik Sensor EEG Kategori Normal

**EEG Summary****Gelombang Dominan:** delta**Delta:** 50.7%**Gamma:** 32.8%**Theta:** 8.2%**Beta:** 7.5%**Alpha:** 0.8%

Gambar 4.45 Data Sensor EEG Kategori Normal

**Hasil Pemeriksaan**

Waktu Mulai: 2025-07-22 14:03:27

Total episode apnea: 2

Total episode hypopnea: 2

Fase REM: 15 Menit

Fase NREM: 43 Menit

Waktu Selesai: 2025-07-22 15:03:29

Durasi Tidur: 1 Jam

AHI: 4 / Jam

**Kesimpulan Pemeriksaan:**

Nilai AHI Anda adalah 4, tergolong normal. Tidak ditemukan indikasi sleep apnea signifikan.

Gambar 4.46 Hasil Pemeriksaan Keseluruhan Kategori Normal

Pada testing yang telah dilakukan pada grafik diatas menampilkan data pasien dengan kategori sleep apnea ringan. Tampilan grafik menunjukkan:

- Gangguan napas yang masih jarang terjadi
- Denyut jantung dan saturasi oksigen relatif stabil
- Fase tidur relatif tidak terlalu terganggu

Kategori ini memiliki nilai AHI antara 5–15.

Dari hasil pembacaan sensor tersebut, sistem memperoleh data jumlah episode apnea dan hypopnea, serta proporsi fase tidur REM dan NREM. Data ini digunakan untuk menghitung nilai *Apnea Hypopnea Index* (AHI) dengan rumus sebagai berikut:

$$AHI = \frac{\text{Total Episode Apnea} + \text{Hypopnea}}{\text{Durasi Tidur (Jam)}}$$

(Sumber: Alomedika.com [25])

Nilai AHI yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan standar klasifikasi medis untuk menentukan tingkat keparahan sleep apnea yang dialami. Klasifikasi AHI dibagi menjadi empat kategori, yaitu:

- Normal:  $AHI < 5$
- Ringan:  $5 \leq AHI < 15$
- Sedang:  $15 \leq AHI < 30$
- Berat:  $AHI \geq 30$

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Akhir terhadap Pasien

Nama Test	Durasi Pemeriksaan	Fase REM	Fase NREM	Total Episode Apnea	Total Episode Hypopnea	AHI	Kategori
Test-001	1 Jam	15%	66.7%	24	11	34.9	Sleep Apnea Berat
Test-002	1 Jam	13.3%	80%	13	8	20.9	Sleep Apnea Sedang
Test-003	1 Jam	15%	75%	4	3	6.99	Sleep Apnea Ringan
Test-004	1 Jam	25%	71.7%	2	2	4	Normal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi sleep apnea dengan melihat jumlah gangguan pernapasan (apnea dan hypopnea) serta nilai AHI (Apnea Hypopnea Index). Selain itu, sistem juga mencatat fase tidur REM dan NREM. Jika fase REM terlalu rendah, hal ini dapat menunjukkan adanya gangguan tidur.

Tingkat keparahan sleep apnea ditentukan secara otomatis oleh sistem berdasarkan nilai AHI yang dihitung selama pemeriksaan berlangsung. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan semua episode apnea dan hypopnea, lalu dibagi dengan durasi tidur (dalam jam).

Sistem tidak hanya berfungsi untuk mengirim data ke website, tetapi juga langsung menghitung dan menampilkan hasilnya. Dengan cara ini, sistem dapat memberikan kesimpulan apakah pengguna tergolong normal atau mengalami sleep apnea ringan, sedang, atau berat. Hasil ini bisa digunakan sebagai acuan awal oleh tenaga medis dalam memantau kondisi tidur pasien dari jarak jauh.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran mengenai Tugas Akhir yang sudah dilakukan, serta berisi saran-saran yang akan disampaikan untuk menjadi perbaikan dan pengembangan ke depannya.

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan sistem, kemudian dilakukan beberapa pengujian. Maka, dapat diambil keputusan dari hasil pengujian yang dilakukan setelah menyelesaikan sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi empat parameter fisiologis, yaitu laju pernapasan, detak jantung, kadar oksigen dalam darah, dan aktivitas gelombang otak, yang telah diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk mendukung pemantauan pasien secara jarak jauh.
2. Prototipe sistem dapat digunakan di lingkungan rumah dengan pemantauan secara *real-time* melalui *dashboard* berbasis web. Namun, karena masih berupa prototipe awal, pengembangan lebih lanjut dengan sistem skala besar diperlukan agar dapat digunakan secara klinis.
3. Antarmuka sistem yang dirancang dapat digunakan oleh pasien dan dokter sebagai media pemeriksaan kondisi *sleep apnea* secara interaktif dan informatif.
4. Sistem ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai alat bantu deteksi dini gangguan tidur, khususnya *sleep apnea* ringan hingga sedang, melalui perhitungan indeks AHI secara otomatis.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya terhadap Tugas Akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan perbaikan pada desain perangkat keras agar lebih ergonomis dan nyaman digunakan selama tidur, serta tidak mengganggu aktivitas pasien saat beristirahat.

2. Disarankan untuk menambahkan fitur peringatan otomatis berupa notifikasi ke perangkat mobile apabila nilai AHI melebihi ambang batas tertentu, guna meningkatkan kegunaan sistem sebagai alat monitoring kesehatan yang cerdas.

## DAFTAR PUSTAKA DAN RUJUKAN

- [1] Indra Kurniawan and L. Andraini, “Implementasi Internet of Things (IoT) Untuk Kesehatan,” vol. 2, no. 10, pp. 1–9, 2022.
- [2] N. Hidayanti and D. Titisari, “Low Cost Monitoring Kesehatan Berbasis Internet of Thing,” *J. Teknokes*, vol. 13, no. 2, pp. 98–106, 2020, doi: 10.35882/teknokes.v13i2.6.
- [3] M. C. Yuniar *et al.*, “Pengembangan Teknologi dalam Bidang Kesehatan,” *J. Teknol. Sist. Inf. dan Apl.*, vol. 18, no. 2, pp. 49–52, 2022, [Online]. Available: <https://www.e-journal.poltekkesjogja.ac.id/index.php/JTK/article/view/1143> <https://www.e-journal.poltekkesjogja.ac.id/index.php/JTK/article/download/1143/998>
- [4] Cecep, “Perkembangan Teknologi Informasi Komunikasi / ICT dalam berbagai Bidang,” *J. Fak. Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 39–46, 2021.
- [5] M. A. Saputro, “Implementation of a Wireless Heart Rate and Body Temperature Monitoring System,” *Dev. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 148–156, 2017.
- [6] “Menuju, Transformasi Rumah Sakit Indonesia Era Masyarakat 5.0”, [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=IVCmEAAAQBAJ&lpg=PA161&ots=vp9Q99eCdr&dq=teknologi%20sensor%20seperti%20usg%20pada%20bidang%20kesehatan&lr&hl=id&pg=PA166#v=onepage&q&f=true>
- [7] S. Senggo’ Palayukan, “Faktor- Faktor yang Berhubungan dengan Perubahan Kualitas Tidur Mahasiswa Universitas Megarezky Makassar,” *Nurs. Insid. Community*, vol. 2, no. 2, pp. 59–63, 2020.
- [8] M. A. Ciptaan and R. T. S. Hariyati, “Kemajuan Teknologi Dalam Menentukan Test Diagnostic Serta Monitoring Terjadinya Sleep Apnea: Studi Literatur,” *Carolus J. Nurs.*, vol. 2, no. 1, pp. 52–62, 2020, doi: 10.37480/cjon.v2i1.11.
- [9] A. Ghifari and E. R. Widasari, “Sistem Pendekripsi Sleep-Disordered Breathing Berdasarkan High dan Low Frequency Menggunakan Metode

- Naïve Bayes,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 4, pp. 815–822, 2023, doi: 10.25126/jtiik.20241046913.
- [10] T. Libristina and A. Suri, “Hubungan Obesitas dan Obstructive Sleep Apnea (OSA),” 2022.
  - [11] Q. Luthfiyani, E. R. Widiasari, and F. Utaminingrum, “Rancang Bangun Sistem Pendekripsi Central Sleep Apnea menggunakan K-NN berbasis Arduino Bluetooth Module,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 8, pp. 3678–3684, 2022, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
  - [12] W. Shakespeare, “Obstructive Sleep Apnea (OSA) dan Penyakit Kardiovaskular Budhi,” *New Oxford Shakespeare. Crit. Ref. Ed. Vol. 2*, pp. 1983–1983, 2017, doi: 10.1093/oseo/instance.00209093.
  - [13] T. Turap, T. B. Merupakan, T. B. Lebih, and T. D. Turap, “Gangguan Tidur pada Lanjut Usia,” pp. 1–17.
  - [14] S. Latifah, Nuryani, and Artono, “Merancang Sistem Deteksi Penyakit Apnea Tidur Obstruktif Menggunakan Fast Fourier Transform pada Elektrokardiogram,” *J. FMipa UNS*, vol. 3, no. 4, pp. 56–60, 2016.
  - [15] F. K. Djama, “Rancang Bangun Alat Pemeriksaan Polisomnografi sebagai Indikator Diagnosis Sleep Apnea.”
  - [16] H. Kuswoyo, E. Susana, and H. Tjahjadi, “Design of Personal Health Monitoring Devices for Early Detection of Silent Hypoxia,” *Teknik*, vol. 43, no. 1, pp. 8–16, 2022, doi: 10.14710/teknik.v43i1.42752.
  - [17] D. Rahman, H. Amnur, and I. Rahmayuni, “Monitoring Server dengan Prometheus dan Grafana serta Notifikasi Telegram,” *JITSI J. Ilm. Teknol. Sist. Inf.*, vol. 1, no. 4, pp. 133–138, 2020, doi: 10.30630/jitsi.1.4.19.
  - [18] A. Junaidi, “Internet Of Things, Sejarah, Teknologi Dan Penerapannya : Review,” *J. Ilm. Teknol. Inf.*, vol. IV, no. 3, pp. 62–66, 2015.
  - [19] A. Hermansyah, R. Hardiyanti, and A. P. P. Prasetyo, “Sistem Perekam Detak Jantung Berbasis Internet Of Things (IoT) dengan Menggunakan Pulse Heart Rate Sensor,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 338, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.116677.
  - [20] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, “Implementasi Internet of Things Dalam Kehidupan Sehari-Hari,” *J. Imagine*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40,

2022, doi: 10.35886/imagine.v2i1.329.

- [21] “Arsitektur IoT.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/The-IoTWF-Reference-Model-49\\_fig3\\_36740552](https://www.researchgate.net/figure/The-IoTWF-Reference-Model-49_fig3_36740552)
- [22] F. R. Muhammad and H. Indra, “Implementasi Penghitung Laju Respirasi pada Sistem Polisomnografi menggunakan Mikrofon dan Arduino Nano,” vol. 6, no. 22, pp. 72–78, 2020.
- [23] M. C. Nasseri, P. Djojosuwarno, and Haryono., “Peranan Polisomnografi dalam Diagnosis Restless Legs Syndrome ( RLS ),” *Fak. Kedokteran, Univ. Kristen Maranatha.*, vol. 9, no. 2, pp. 120–135, 2010.
- [24] G. . D. Puspitha Candra, “Diagnosis and Management Chronic Insomnia,” *E-Jurnal Med. Udayana*, vol. 2, no. 3, pp. 1–14, 2013, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/eum/article/view/4928%5Cnhttp://ojs.unud.ac.id/index.php/eum/article/view/4928/3717>
- [25] “Rumus.” [Online]. Available: Diagnosis Obstructive Sleep Apnea - Alomedika
- [26] C. T. Lin *et al.*, “IoT-Based Wireless Polysomnography Intelligent System for Sleep Monitoring,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 405–414, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2765702.
- [27] A. R. Dhruba, K. N. Alam, M. S. Khan, S. Bourouis, and M. M. Khan, “Development of an IoT-Based Sleep Apnea Monitoring System for Healthcare Applications,” *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/7152576.
- [28] D. Fattal, S. Hester, and L. Wendt, “Body weight and obstructive sleep apnea: a mathematical relationship between body mass index and apnea-hypopnea index in veterans,” *J. Clin. Sleep Med.*, vol. 18, no. 12, pp. 2723–2729, 2022, doi: 10.5664/jcsm.10190.
- [29] L. Syafaah, M. Effendy, J. Setiawan, and M. Irfan, “Sistem Cerdas Deteksi Kantuk Berbasis Neurosky,” pp. 30–36, 2019.
- [30] N. Agustina, “Rancang Buat Sensor Pernapasan Menggunakan Serat Optik Plastik Konfigurasi Lekukan Besar Serat Optik Plastik Konfigurasi Lekukan Besar,” 2017.

- [31] I. A. IBRAHIM and A. M. Nasution, “Estimasi laju pernapasan berbasis pengolahan citra menggunakan kamera dengan metode analisis,” 2020.
- [32] T. S. Sollu, A. Alamsyah, M. Bachtiar, A. Amir, and B. Bontong, “Sistem Monitoring Detak Jantung dan Suhu Tubuh Menggunakan Arduino,” *Techno.Com*, vol. 17, no. 3, pp. 323–332, 2018, doi: 10.33633/tc.v17i3.1796.
- [33] C. Sumiarty and F. A. Sulistyo, “Hubungan Respiratory Rate (RR) Dengan Oxygen Saturation (SPO2) Pada Pasien Cedera Kepala,” *J. Ilm. Wijaya*, vol. 12, pp. 2301–4113, 2020, [Online]. Available: [www.jurnalwijaya.com](http://www.jurnalwijaya.com);
- [34] N. Amir, “Gangguan Tidur pada Lanjut Usia Diagnosis dan Penatalaksanaan,” *Cermin Dunia Kedokt.*, no. 157, pp. 196–206, 2019.
- [35] B. B. Murti, “Rancang Bangun Sistem Pemonitor Gelombang Otak Nirkabel Berbasis Mikrokontroler,” *J. List. Instrumentasi dan Elektron. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 7–13, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i2.70751.
- [36] R. Boostani, F. Karimzadeh, and M. Nami, “A comparative review on sleep stage classification methods in patients and healthy individuals,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 140, pp. 77–91, 2017, doi: 10.1016/j.cmpb.2016.12.004.
- [37] M. K. Delimayanti *et al.*, “Classification of brainwaves for sleep stages by high-dimensional FFT features from EEG signals,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 5, 2020, doi: 10.3390/app10051797.
- [38] D. Febriani, F. Yunus, B. Antariksa, and H. Andrianto^, “Relationship Between Obstructive Sleep Apnea and Cardiovascular,” *J. Kardiol. Indones.*, vol. 32, no. 1, pp. 45–52, 2011.
- [39] Salsabilah, “Alat Deteksi Jumlah Frekuensi Pernafasan Dengan Sensor Piezoelektrik,” *SinarFe7*, vol. 4, no. 1, pp. 402–408, 2021, [Online]. Available: <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/119>
- [40] A. C. Sari, A. Rahayu, and W. Budiharto, “Developing Information System of Attendance and Facebook Status for Binus University’s Lecturer Using Raspberry Pi Architecture,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 59, no. Iccsci, pp. 178–187, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.07.546.
- [41] “Raspberry Pi.” [Online]. Available: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/Raspberry\\_Pi](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/Raspberry_Pi)

- \_4\_Model\_B\_-\_Side.jpg/1920px-Raspberry\_Pi\_4\_Model\_B\_-\_Side.jpg
- [42] “Sensor TGAM.” [Online]. Available: <https://ae01.alicdn.com/kf/Sd55160f9ad9c49188c35dbf7bc74a34ed.jpg>
- [43] F. Gunawan, “Pemantauan Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Dalam Darah Berbasis Iot Menggunakan Sensor Max30102,” pp. 1–45, 2023, [Online]. Available: [https://eprints.untirta.ac.id/30726/1/Fajar\\_Gunawan\\_3332170005\\_Fulltext.pdf](https://eprints.untirta.ac.id/30726/1/Fajar_Gunawan_3332170005_Fulltext.pdf)
- [44] “Sensor MAX32102.” [Online]. Available: [https://digiwarestore.com/9407-large\\_default/max30102-modul-sensor-detak-jantung-kadar-oksidigen-tekanan-darah-296396.jpg](https://digiwarestore.com/9407-large_default/max30102-modul-sensor-detak-jantung-kadar-oksidigen-tekanan-darah-296396.jpg)
- [45] M. F. Nurillah, B. G. Irianto, and I. D. G. H. Wisana, “Pemantauan Apnea Berbasis Internet of Things dengan Notifikasi di Mobilephone,” *J. Teknokes*, vol. 13, no. 2, pp. 81–90, 2020, doi: 10.35882/teknokes.v13i2.4.
- [46] “Piezoelectric.” [Online]. Available: <https://www.tokopedia.com/dielectronics/Piezoelectric-vibration-sensor-module-piezo-ceramic-analog-vibration>
- [47] “Pengertian Silikon.” [Online]. Available: <https://id.welldecable.com/info/what-is-the-difference-between-rubber-cable-95240671.html>
- [48] “Silikon.” [Online]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/18AWG-Flexible-Silicone-Wire-18-Gauge\\_1601195516653.html](https://www.alibaba.com/product-detail/18AWG-Flexible-Silicone-Wire-18-Gauge_1601195516653.html)
- [49] E. W. Saragih, M. R. Lubis, A. Wantu, S. Solikhun, and J. Jalaluddin, “Rancang Bangun Sistem Rem Otomatis pada Kendaraan Menggunakan Sensor Ultrasonik,” *J. Penelit. Inov.*, vol. 1, no. 2, pp. 85–94, 2021, doi: 10.54082/jupin.11.
- [50] “Kabel Jumper.”
- [51] “PCB.”
- [52] B. M. Susanto, E. S. J. Atmadji, and W. L. Brenkman, “Implementasi Mqtt Protocol Pada Smart Home Security Berbasis Web,” *J. Inform. Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 201–205, 2018, doi: 10.33795/jip.v4i3.207.
- [53] Z. B. Abilovani, W. Yahya, and F. A. Bakhtiar, “Implementasi Protokol MQTT Untuk Sistem Monitoring Perangkat IoT,” *J. Pengemb. Teknol. Inf.*

- dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 12, pp. 7521–7527, 2018, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [54] “MQTT.” [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fiotbyhvm.ooo%2Fmqtt-servers-brokers>
- [55] “Mosquitto.”
- [56] M. Z. S. Sirait, E. Sonalitha, and W. Dirgantara, “Kontrol Prototipe Ruang Monitoring Kesehatan Berbasis Node-Red,” *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 9, no. 3, pp. 135–140, 2022, doi: 10.21107/triac.v9i3.17280.
- [57] “Node-RED.” [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Node-RED>
- [58] I. G. Handika and A. Purbasari, “Pemanfaatan Framework Laravel Dalam Pembangunan Aplikasi E-Travel Berbasis Website,” *Konf. Nas. Sist. Inf. STMIK Atma Luhur Pangkalpinang*, pp. 1329–1334, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.atmaluhur.ac.id/index.php/knsi2018/article/view/533>
- [59] “Laravel.” [Online]. Available: [https://www.google.com/imgres?q=laravel+adalah&imgurl=https%3A%2F%2Fwww.angon.co.id%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F10%2F1686539179.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.angon.co.id%2Fapa-itu-laravel%2F629&docid=lnjwY\\_2a4nF48M&tbnid=fHeziCKd39YztM&vet=12ahUKEwi](https://www.google.com/imgres?q=laravel+adalah&imgurl=https%3A%2F%2Fwww.angon.co.id%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F10%2F1686539179.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.angon.co.id%2Fapa-itu-laravel%2F629&docid=lnjwY_2a4nF48M&tbnid=fHeziCKd39YztM&vet=12ahUKEwi)
- [60] “MySQL.” [Online]. Available: <https://id.wikipedia.org/wiki/MySQL>
- [61] I. Rochmawati, “Iwearup.Com User Interface Analysis,” *Visualita*, vol. 7, no. 2, pp. 31–44, 2019, doi: 10.33375/vslt.v7i2.1459.
- [62] “Website.” [Online]. Available: <https://www.mediaheroes.com.au/blog/purpose-of-a-website/>
- [63] S. Garudeswaran, S. Cho, I. Ohu, and A. K. Panahi, “Teach and Playback Training Device for Minimally Invasive Surgery,” *Minim. Invasive Surg.*, vol. 2018, no. April, 2018, doi: 10.1155/2018/4815761.

- [64] “Arduino.” [Online]. Available: <http://arduino.cc/en/software/>
- [65] K. Saleem, I. S. Bajwa, N. Sarwar, W. Anwar, and A. Ashraf, “IoT Healthcare: Design of Smart and Cost-Effective Sleep Quality Monitoring System,” *J. Sensors*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8882378.
- [66] Y. J. Jeon and S. J. Kang, “Wearable Sleepcare Kit: Analysis and Prevention of Sleep Apnea Symptoms in Real-Time,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 60634–60649, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913849.
- [67] W. S. Almuhammadi, K. A. I. Aboalayon, and M. Faezipour, “Efficient obstructive sleep apnea classification based on EEG signals,” *2015 IEEE Long Isl. Syst. Appl. Technol. Conf. LISAT 2015*, no. July, 2015, doi: 10.1109/LISAT.2015.7160186.

## LAMPIRAN

### Kode Program Device

```
import max30102
import hrcalc
import time
import threading
import json
import paho.mqtt.client as mqtt
from datetime import datetime
import RPi.GPIO as GPIO

# MQTT Configuration
MQTT_BROKER = "192.168.255.130"
MQTT_USERNAME = "sleepapnea"
MQTT_PASSWORD = "1"
TOPIC_MONITORING = "/monitor/data/device"
TOPIC_RESULTS = "/result/data/device"
QOS = 0

# Initialize MQTT Client
mqtt_client = mqtt.Client()
mqtt_client.username_pw_set(MQTT_USERNAME, MQTT_PASSWORD)
mqtt_client.connect(MQTT_BROKER, 1883, 60)

# Initialize MAX30102 sensor
m = max30102.MAX30102()

# GPIO setup for sound sensor
SOUND_SENSOR_PIN = 7
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(SOUND_SENSOR_PIN, GPIO.IN)

# Global variables
running = True
breath_count = 0
apnea_count_max = 0
apnea_count_sound = 0
hypopnea_count = 0
avg_hr = 0
avg_spo2 = 0
data_ready = False
start_time = time.time()

# Reconnect to MQTT broker if disconnected
def on_disconnect(client, userdata, rc):
    if rc != 0:
        print("Disconnected from MQTT broker. Attempting to reconnect...")
        client.reconnect()

mqtt_client.on_disconnect = on_disconnect

# Function to update breath count from sound sensor
def read_sound_sensor():
    global breath_count, apnea_count_sound
```

```

last_breath_time = time.time()

while running:
    sound_detected = GPIO.input(SOUND_SENSOR_PIN)
    if sound_detected == GPIO.HIGH and time.time() - last_breath_time > 1:
        breath_count += 1
        last_breath_time = time.time()
        print(f"Napas terdeteksi! Total napas: {breath_count}")

    # Apnea detection
    if time.time() - last_breath_time >= 10:
        apnea_count_sound += 1
        print(f"Episode apnea terdeteksi (Sound Sensor)! Total: {apnea_count_sound}")
        last_breath_time = time.time()

    time.sleep(0.1)

# Function to read data from MAX30102 sensor
def read_max30102():
    global avg_hr, avg_spo2, apnea_count_max, hypopnea_count, data_ready
    global heart_rates, spo2_values
    local_start_time = time.time()

    while running:
        red, ir = m.read_sequential()
        print(f"Data read from MAX30102: RED={len(red)}, IR={len(ir)}")

        hr, hr_valid, spo2, spo2_valid =
        hrcalc.calc_hr_and_spo2(ir, red)
        print(f"HR: {hr}, HR Valid: {hr_valid}, SpO2: {spo2}, SpO2 Valid: {spo2_valid}")

        if hr_valid:
            heart_rates.append(hr)
        if spo2_valid:
            spo2_values.append(spo2)

        elapsed_time = time.time() - local_start_time
        if elapsed_time >= 60:
            if heart_rates and spo2_values:
                avg_hr = sum(heart_rates) / len(heart_rates)
                avg_spo2 = sum(spo2_values) / len(spo2_values)
                print(f"Updated avg_hr: {avg_hr:.2f}, avg_spo2: {avg_spo2:.2f}")
                data_ready = True
            else:
                print("No valid data collected in the last 60 seconds.")

            heart_rates.clear()
            spo2_values.clear()
            local_start_time = time.time()

```

```

        time.sleep(1)

# Function to send monitoring data to MQTT broker every minute
def send_monitoring_data():
    global avg_hr, avg_spo2, breath_count, data_ready

    while running:
        if data_ready:
            payload = {
                "nama": "Device1",
                "status": "Active",
                "pasien_id": 1,
                "heartrate_data": avg_hr,
                "spo2_data": avg_spo2,
                "respiration_data": breath_count,
                "delta": 0,
                "theta": 0,
                "alpha": 0,
                "low_beta": 0,
                "high_beta": 0,
                "gamma": 0,
                "timestamp": datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
            }

            mqtt_client.publish(TOPIC_MONITORING,
json.dumps(payload), qos=QOS)
            print(f"Data dikirim ke MQTT: {payload}")

            breath_count = 0
            data_ready = False

            time.sleep(60)

# Function to calculate AHI and send result data to MQTT broker
def send_result_data(monitoring_time):
    total_episode_apnea = (apnea_count_max + apnea_count_sound) / 2
    ahi = (total_episode_apnea + hypopnea_count) / (monitoring_time / 3600)
    durasi_tidur = max(0, monitoring_time / 3600)

    result_payload = {
        "pasien_id": 1,
        "total_apnea": total_episode_apnea,
        "total_hypopnea": hypopnea_count,
        "durasi_tidur": durasi_tidur,
        "ahi": ahi
    }

    mqtt_client.publish(TOPIC_RESULTS,
json.dumps(result_payload), qos=QOS)
    print(f"Hasil dikirim ke MQTT: {result_payload}")

# Main function to start threads
if __name__ == "__main__":
    try:

```

```
sound_thread =
threading.Thread(target=read_sound_sensor)
max30102_thread = threading.Thread(target=read_max30102)
monitoring_thread =
threading.Thread(target=send_monitoring_data)

sound_thread.start()
max30102_thread.start()
monitoring_thread.start()

sound_thread.join()
max30102_thread.join()
monitoring_thread.join()

except KeyboardInterrupt:
    running = False
    GPIO.cleanup()
    end_time = time.time()
    monitoring_time = end_time - start_time
    send_result_data(monitoring_time)
    print("\nProgram stopped.")
```

## Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Jadwal																
		Agustus			September			Oktober			November			Desember				
		Minggu Ke -																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	Pembagian Kelompok dan Dosen Pembimbing																	
2.	Penentuan Topik																	
3.	Survei dan Review Jurnal																	
4.	Penulisan/Penyusun Bab 1																	
5.	Penulisan/Penyusun Bab 2																	
6.	Penulisan/Penyusun Bab 3																	
7.	Seminar Proposal																	
8.	Revisi Proposal																	
9.	Seminar TA 1																	
10.	Revisi Seminar TA 1																	
11.	Penulisan/Penyusun Bab 4																	
12.	Penulisan/Penyusun Bab 5																	
13.	Sidang Akhir																	