

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit Tidak Menular (PTM) dan ancaman penyakit menular yang menyerang sistem respirasi menjadi tantangan kesehatan global. Studi epidemiologi terbaru tahun 2023 menyoroti bahwa penyakit pernapasan kronis, seperti Asma dan Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), terus menjadi penyumbang utama morbiditas global dengan tren yang meningkat di negara berkembang [1]. Pengalaman pandemi global menegaskan kerentanan sistem kesehatan terhadap penyakit menular seperti COVID-19, Pneumonia dan Tuberkulosis (TBC), yang penularannya sangat cepat melalui *droplet* pernapasan [2]. Gejala klinis yang paling konsisten muncul pada penderita gangguan respirasi tersebut adalah perubahan pola napas yang signifikan, baik berupa *Tachypnea* (napas cepat) maupun *Bradypnea* (napas lambat). Kondisi patologis ini secara langsung menyebabkan penyimpangan frekuensi laju pernapasan dari rentang fisiologis normal, yang mengindikasikan adanya gangguan pertukaran gas dalam tubuh [3].

Laju pernapasan merupakan parameter vital yang selalu diabaikan dalam pemantauan rutin. Penelitian terbaru menegaskan bahwa abnormalitas pada laju pernapasan adalah prediktor paling awal dan sensitif untuk mendeteksi perburukan kondisi pasien, bahkan perubahan ini terdeteksi lebih dini dibandingkan perubahan pada saturasi oksigen, denyut jantung, atau tekanan darah [4]. Pemantauan laju pernapasan tidak hanya wajib ada di lingkungan rumah sakit, tetapi penting juga untuk dilakukan secara mandiri. Ketersediaan alat pemantauan dini yang mudah diakses oleh masyarakat awam menjadi kunci strategis untuk mencegah fatalitas, memungkinkan pengguna untuk mengenali tanda bahaya fisiologis lebih cepat sebelum mencari pertolongan medis profesional [5].

Meskipun urgensinya tinggi, metode pengukuran laju pernapasan yang umum digunakan saat ini masih memiliki keterbatasan signifikan. Metode penghitungan manual melalui observasi visual pergerakan dada dinilai tidak efisien dan memiliki tingkat akurasi yang rendah karena sangat bergantung pada subjektivitas serta

konsentrasi pengamat, yang rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) [6]. Disisi lain, alat pemantau berbasis kontak (*contact-based*) seperti sabuk regangan dada (*chest belt*) atau kanula hidung, meskipun akurat, seringkali menimbulkan ketidaknyamanan fisik, iritasi kulit pada penggunaan jangka panjang dan membatasi mobilitas pengguna [7]. Lebih dari itu, penggunaan alat kontak pada pasien dengan penyakit menular berisiko tinggi menjadi media transmisi patogen atau virus, sehingga meningkatkan potensi penularan penyakit kepada orang lain atau tenaga medis [7]. Kondisi ini memicu kebutuhan mendesak akan teknologi pemantauan non-kontak yang higienis, aman dan meminimalisir risiko infeksi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat ukur laju pernapasan non-kontak berbasis kamera termal yang diaplikasikan untuk penggunaan mandiri. Penelitian ini menawarkan aspek kebaruan melalui integrasi sensor kamera termal AMG8833 dengan sensor ultrasonik HC-SR04 dan algoritma *Peak Detection*. Pemilihan sensor AMG8833 didasarkan pada kemampuannya mendeteksi fluktuasi temperatur di area lubang hidung saat siklus inhalasi dan ekshalasi dengan biaya rendah (*low-cost*), menjadikannya solusi ekonomis dibandingkan kamera termal resolusi tinggi. Namun, karena sensor ini memiliki resolusi rendah dan kualitas pembacaan yang sangat dipengaruhi oleh jarak, sistem ini dilengkapi dengan fitur kalibrasi jarak otomatis menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memvalidasi bahwa pengambilan data hanya dilakukan pada posisi optimal. Selanjutnya, data termal yang diperoleh akan diolah menggunakan algoritma *Peak Detection* berbasis domain waktu. Metode ini dipilih karena terbukti efisien secara komputasi untuk mikrokontroler namun tetap akurat dalam menghitung frekuensi napas berdasarkan identifikasi titik temperatur tertinggi dalam siklus pernapasan, sehingga menghasilkan instrumen deteksi dini yang akurat, praktis dan *user-friendly* [8].

1.2 Kajian Terdahulu

Untuk menunjukkan bahwa penelitian ini tidak ada unsur plagiat terhadap penelitian ini, dalam Tabel 1.1 diuraikan penelitian sebelumnya mengenai rancang bangun atau implementasi alat ukur laju pernapasan dengan berbagai sensor.

Tabel 1.1 Kajian terdahulu.

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
1	Luna Panni, Gloria Cosoli, Luca Antognoli, Lorenzo Scalise.	2024	<i>Measurement of respiratory rate with cardiac belt: Metrological characterization</i>
2	M. Clinton, T. Manullang, N. Resfita	2021	Implementasi Penghitung Laju Respirasi Pada Sistem Polisomnografi Menggunakan Mikrofon dan Arduino Nano
3	Hsi-Chou Hsu, Wei-Hsin Chen, Yi-Wen Lin, Yung-Fa Huang.	2025	<i>Respiratory rate sensing for a non-stationary human assisted by motion detection</i>
4	Raquel Alves, Fokke van Meulen, Sebastiaan Overeem, Svitlana Zinger, Sander Stuijk	2024	<i>Thermal cameras for continuous and contactless respiration monitoring</i>
5	Qi Zhan, Wenjin Wang, Xiaorong Ding	2021	<i>Examination of potential of thermopile-based contactless respiratory gating</i>

Perkembangan alat pengukur laju pernapasan kini mulai beralih dari alat berbasis kontak ke alat non-kontak karena jauh lebih nyaman dan higienis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa alat berbasis kontak seperti sabuk dada (*chest belt*) sering membuat pengguna merasa tidak nyaman dan hasilnya kurang tepat saat napas pengguna terlalu pelan atau dangkal [9]. Untuk mengatasi masalah kenyamanan tersebut, peneliti di Indonesia telah mencoba membuat alat deteksi laju pernapasan murah menggunakan sensor suara atau mikrofon. Sayangnya, walaupun murah dan tidak membebani tubuh, alat berbasis non-kontak menggunakan sensor suara ini sangat mudah terganggu oleh suara berisik di sekitarnya [10]. Peneliti lain kemudian mencoba menggunakan teknologi Radar yang sangat akurat dan tidak terpengaruh oleh suara berisik. Akan tetapi, biaya pembuatan radar sangatlah mahal dan susunan alatnya terlalu rumit, sehingga sulit dijadikan alat kesehatan mandiri

yang bisa dimiliki oleh masyarakat umum [11]. Sebagai solusi tengah yang murah dan non-kontak, dipilihlah penggunaan kamera termal sederhana [12]. Sensor kamera termal seperti AMG8833 (8×8 piksel) terbukti mampu mendeteksi napas dengan keakuratan di atas 90% pada jarak dekat [13]. Namun, kelemahan kamera termal ini adalah keakuratannya mudah turun jika jarak wajah pengguna bergeser atau berubah-ubah dan jarak yang semakin jauh [12]. Berdasarkan analisis tersebut, penelitian ini mengisi celah (*gap*) dengan merancang sistem deteksi laju pernapasan yang mengintegrasikan sensor AMG8833 dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memvalidasi jarak secara otomatis. Penggabungan kedua sensor ini menciptakan alat pendeteksi laju pernapasan yang nyaman karena bersifat non-kontak, tidak terganggu oleh suara berisik di lingkungan sekitar, bebas dari kesalahan posisi duduk, dan pastinya tetap murah serta sangat mudah digunakan oleh siapa saja.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi sensor kamera termal AMG8833 serta sensor ultrasonik HC-SR04 dalam sistem deteksi laju pernapasan non-kontak?
2. Bagaimana kinerja alat deteksi laju pernapasan ini dalam memantau objek secara langsung dengan menggunakan algoritma *Peak Detection*?

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

1. Merancang dan mengimplementasikan integrasi sensor kamera termal AMG8833 serta sensor ultrasonik HC-SR04 dalam sebuah sistem deteksi laju pernapasan *non-contact*.
2. Menganalisis kinerja dan tingkat akurasi alat deteksi laju pernapasan yang telah dibangun.

1.4.2 Manfaat

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah pada bidang teknik instrumentasi medis dan *Embedded System* melalui pengembangan metode pemantauan laju pernapasan secara non-kontak dengan menggunakan sensor kamera termal AMG8833 yang diintegrasikan dengan validasi jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan penerapan algoritma *Peak Detection*. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi baru untuk bidang instrumentasi medis.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini menghasilkan sebuah *prototype* instrumen pemantau kesehatan yang bersifat non-invasif, portabel, dan ekonomis. Keunggulan utama alat ini adalah lebih higienis karena bisa memeriksa pasien tanpa harus bersentuhan fisik, sehingga risiko tertular penyakit bisa dihindari. Alat ini juga sangat membantu dan lebih nyaman dipakai untuk pasien yang tidak bisa disentuh sembarangan, misalnya seperti bayi, lansia, atau pasien yang sedang mengalami luka bakar.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar penelitian ini tetap fokus dan terarah, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

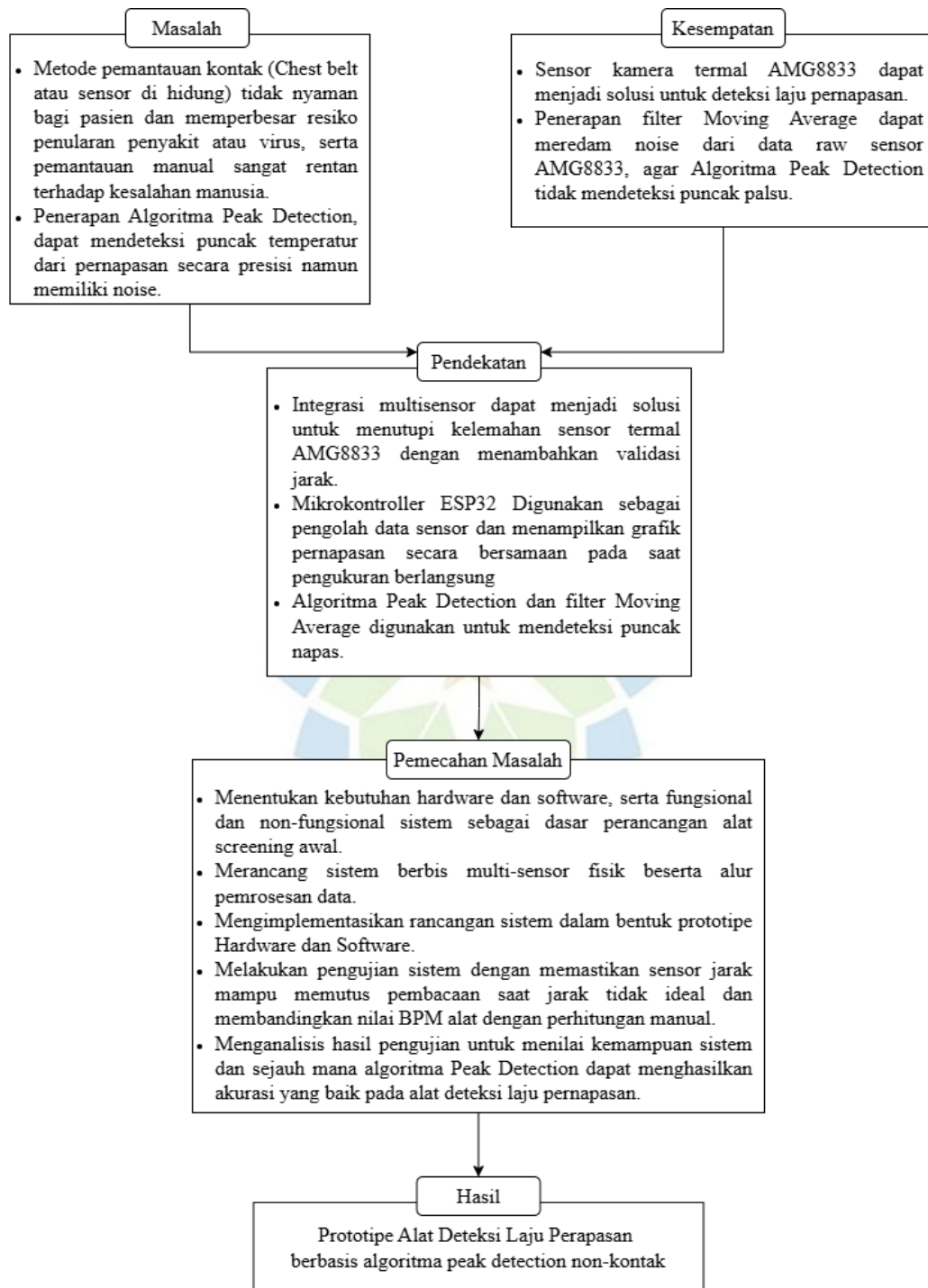
1. Sistem kendali pusat menggunakan mikrokontroler ESP32. Pengambilan data temperatur permukaan dilakukan menggunakan sensor kamera termal AMG8833, sedangkan validasi jarak pengukuran menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memastikan objek berada pada posisi optimal.
2. Antarmuka alat dan pengguna hanya ditampilkan dari visual layar TFT LCD *Touchscreen* dan peringatan suara menggunakan *Buzzer*. Alat ini didesain sebagai instrumen deteksi dini yang bersifat portabel dan praktis, sehingga memungkinkan penggunaan secara mandiri di berbagai lokasi.
3. Pengukuran laju pernapasan difokuskan pada dua mode pengujian, yaitu mode tanpa masker dengan target jarak optimal 5–10 cm dan mode

menggunakan masker dengan target jarak optimal 10–15 cm. Sistem tidak dirancang untuk melakukan pembacaan di luar jangkauan jarak tersebut.

4. Pengambilan dan perekaman data sinyal pernapasan dilakukan selama 30 detik, yang kemudian dikonversi menjadi satuan BPM. Pengujian alat dilakukan di dalam ruangan tertutup dengan temperatur lingkungan yang stabil dan tidak terpapar oleh hembusan angin secara langsung seperti kipas angin atau AC.
5. Alat ini dirancang untuk memeriksa pernapasan remaja hingga dewasa dengan rentang usia 12–65 tahun dalam kondisi santai atau istirahat, baik duduk maupun berbaring. Hasil pembacaan laju pernapasan pada kelompok usia ini dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu *Bradypnea* (<12 BPM), Normal (12 - 20 BPM), dan *Tachypnea* (>20 BPM). Sistem tidak dirancang untuk menangani gerakan berlebih (*motion artifact*) seperti saat subjek sedang berbicara, batuk, atau melakukan aktivitas fisik berat.
6. Hasil akhir penelitian ini berupa *prototype* yang berfungsi sebagai pembuktian konsep (*Proof of Concept*) dan belum melalui uji klinis standar medis (*medical grade*), sehingga hasil pengukurannya tidak dapat digunakan sebagai landasan tunggal untuk diagnosis medis formal.

1.6 Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir merupakan alur metode yang merancang penyelesaian masalah penelitian berdasarkan landasan teoritis dan empiris. Langkah-langkah terstruktur ini disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kerangka berpikir penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini disusun berdasarkan pedoman yang berlaku dan dibagi ke dalam enam bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran umum dan dasar-dasar dari permasalahan penelitian. Dimulai dengan latar belakang masalah yang menguraikan pentingnya pemantauan laju pernapasan dan kelemahan metode konvensional, dilanjutkan dengan penelitian terdahulu sebagai landasan kebaruan. Bab ini juga mencakup rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi kajian teoritis yang sistematis tentang konsep dan prinsip kerja dari komponen utama yang digunakan. Meliputi pembahasan mengenai mikrokontroler ESP32, sensor kamera termal AMG8833, sensor ultrasonik HC-SR04, TFT *Touchscreen*, *Buzzer* dan Algoritma *Peak Detection* yang relevan dengan perancangan sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan seluruh tahapan penelitian yang dilakukan. Dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem (meliputi desain *hardware* dan *software*), implementasi perangkat, hingga metode pengujian dan analisis data.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Bab ini membahas seluruh proses perancangan dan implementasi alat deteksi laju pernapasan secara rinci. Dimulai dari perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan, desain skematik rangkaian elektronik, perancangan perangkat lunak meliputi algoritma *Dynamic Peak Detection* dan antarmuka pengguna berbasis TFT *touchscreen*, hingga implementasi fisik alat dalam bentuk prototipe. Bab ini juga mencakup penjelasan mengenai integrasi seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem yang utuh dan fungsional.

BAB V HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil pengujian dan analisis kinerja sistem secara menyeluruh. Meliputi pengujian fungsional perangkat keras, pengujian perangkat lunak, serta pengujian utama berupa 30 kali percobaan pada mode tanpa masker dan 30 kali percobaan pada mode menggunakan masker dengan membandingkan hasil alat terhadap pengukuran secara manual. Analisis mencakup perhitungan akurasi sistem analisis, filter *Moving Average* dalam meredam *noise* sensor, analisis

akurasi sensor yang digunakan dengan membandingkannya dengan alat ukur referensi, serta pembahasan pengaruh variabel pengujian terhadap performa sistem.

BAB VI PENUTUP

Bab ini merupakan bagian akhir dari laporan penelitian yang berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan merangkum jawaban atas rumusan masalah berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, termasuk tingkat akurasi sistem dan efektivitas algoritma yang digunakan. Saran berisi rekomendasi perbaikan dan pengembangan lebih lanjut bagi peneliti berikutnya, baik dari sisi perangkat keras, perangkat lunak, maupun metode pengujian.

