

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepentingan pemantauan kesehatan secara mandiri semakin naik, terutama pasca pandemi *Coronavirus disease 2019* (COVID-19) dengan meningkatnya kesadaran atas kepentingan monitoring kesehatan, khususnya memantau saturasi oksigen dan denyut jantung.

Rumah sakit mengambil tanda-tanda vital seperti suhu tubuh, tekanan darah, dan kadar saturasi oksigen (SpO₂) untuk pasien yang terkena penyakit seperti COVID-19. Salah satu tanda-tanda vital yang menonjol yakni SpO₂, kelompok sel darah merah (hemoglobin) yang mengikat oksigen relatif terhadap total hemoglobin dalam darah. Tubuh manusia membutuhkan keseimbangan oksigen dalam darah yang diganggu oleh penyakit seperti COVID-19 yang mempengaruhi pertukaran oksigen dalam paru-paru. Tanda-tanda vital yang dinamis dan real-time seperti SpO₂, denyut jantung, laju pernapasan, serta suhu badan memberi data representatif yang lebih akurat pada kondisi saat itu, dibanding hanya satu nilai vital. (Wang, et al., 2022)

Pemantauan detak jantung memainkan peran penting dalam perawatan kesehatan dan kebugaran, memberikan wawasan berharga tentang kesehatan kardiovaskular dan kinerja fisik. Mengenai kadar saturasi oksigen, telah terbukti bahwa gangguan pernapasan mengurangi kadar saturasi oksigen dalam darah. (Amirrudin, et al., 2024)

Pulse oxymeter adalah sensor non-invasif yang mengukur saturasi oksigen dengan cara menyinari cahaya *infrared* dan cahaya merah melewati kulit pada suatu bagian tubuh, seperti jari, pergelangan, dahi dan sebagainya. Sifat non-invasif dan kemungkinan biaya rendah dari sensor ini mendukung mobilitas dan penggunaannya yang lebih mudah diakses dalam kondisi sumber daya rendah. (Dunsmuir, et al., 2014)

Menggunakan dua *light emitting diode* (LED) dan fotodioda, sistem ini diposisikan sedemikian rupa sehingga jari pengguna menciptakan antarmuka antara LED dan fotodioda, sehingga intensitas cahaya yang ditangkap oleh fotodioda berubah sesuai dengan konsentrasi oksigen dalam darah yang melalui jari. (Contardi, et al., 2021)

1.2 Landasan Teori

Penelitian ini didasarkan pada beberapa konsep dan teori yang relevan, yang dijelaskan sebagai berikut.

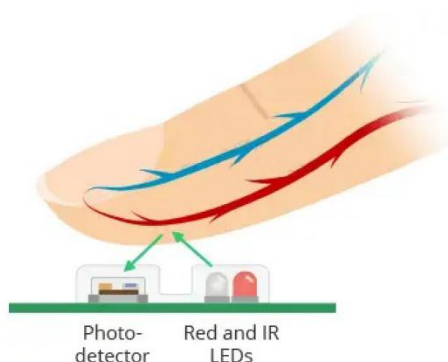
1.2.1 Sinyal Fisiologis

Detak jantung adalah jumlah denyutan jantung yang dihitung per menit, menunjukkan seberapa efisien jantung memompa darah ke seluruh tubuh. Jantung memompa

darah yang kaya oksigen (*oxygenated blood*) dari ventrikel kiri ke seluruh tubuh melalui pembuluh darah arteri utama, kemudian darah yang kurang oksigen (*deoxygenated blood*) kembali ke jantung melalui vena.

Oxygenated blood rendah karbon dioksida dan berwarna merah cerah, sedangkan *deoxygenated blood* tinggi karbon dioksida dan berwarna merah gelap.

Pembuluh darah kapiler adalah pembuluh darah terkecil di tubuh yang menghubungkan arteri dan vena, dan memungkinkan pertukaran zat-zat seperti air, oksigen dan karbon dioksida antara darah dan jaringan lain. Salah satu letak pembuluh darah ini terdapat di ujung jari.



Gambar 1. Deteksi detak jantung dan SpO2 melalui fotodetektor menggunakan LED merah dan IR

Sumber: Last Minute Engineers (2022)

1.2.2 Fotopletismografi

Fotopletismografi (PPG) adalah metode non-invasif untuk mengukur perubahan volume darah di pembuluh darah mikro kulit berdasarkan penyerapan, pemantulan dan hamburan cahaya. Cahaya menembus jaringan dan berinteraksi dengan darah dan pada saat darah mengalir melalui arteri, volume darah mengubah jumlah cahaya yang diserap.

1.2.3 Sensor MAX30102

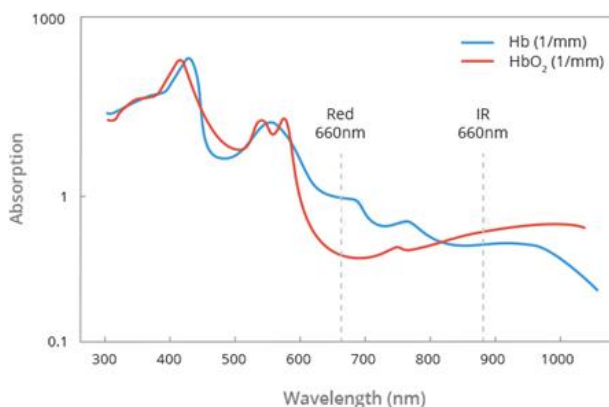
Sensor MAX30102 adalah sensor optik yang mengukur tanda-tanda vital kesehatan seperti detak jantung dan SpO2. Sensor MAX30102 terdiri atas 2 LED (cahaya merah dan cahaya IR), *photodetector* untuk mengukur cahaya yang dipantulkan, bagian optik dan pemrosesan sinyal. Kedua LED tersebut dibutuhkan karena panjang gelombang kedua cahaya yang berbeda berinteraksi dengan darah dengan cara berbeda. Cahaya merah pada panjang gelombang 660 nanometer dan cahaya IR pada panjang gelombang 880 nanometer. Komunikasi dengan mikrokontroler menggunakan antarmuka *Inter-integrated Circuit* (I2C) sederhana.

1.2.4 Pengukuran Detak Jantung

Darah mengangkut oksigen dengan bantuan hemoglobin. Saat hemoglobin mengangkut oksigen, darah menyerap lebih banyak cahaya IR. Setiap denyutan jantung, *oxygenated blood* mengalir sampai ke ujung jari dan lebih banyak menyerap cahaya IR, sehingga cahaya IR yang dipantulkan kepada *photodetector* lebih sedikit. Beginipun dengan sebaliknya ketika antara detak jantung, lebih kurang oksigen dalam pembuluh darah pada jari, sehingga lebih banyak cahaya IR yang dipantulkan ke *photodetector*.

1.2.5 Pengukuran SpO2

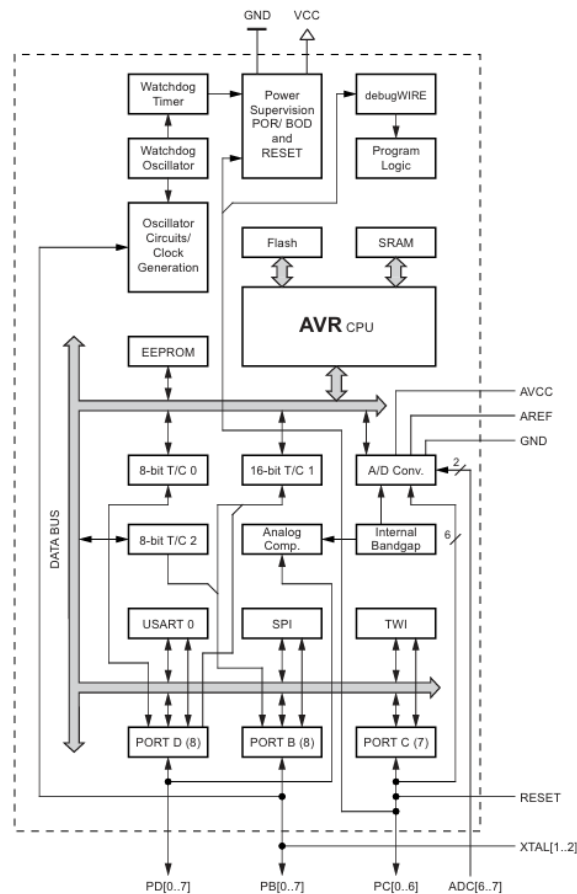
Untuk pengukuran SpO₂, digunakan kedua cahaya merah dan cahaya IR. Prinsipnya yaitu *oxygenated hemoglobin* (HbO₂) dan *deoxygenated hemoglobin* (Hb) menyerap cahaya dengan cara berbeda. HbO₂ menyerap lebih banyak cahaya IR, sedangkan Hb menyerap lebih banyak cahaya merah.



Gambar 2. Grafik penyerapan cahaya HbO₂ dan Hb
Sumber: Last Minute Engineers (2022)

1.2.6 Mikrokontroler

Pada dasarnya, Mikrokontroler adalah prosesor yang berdiri sendiri yang dirancang untuk disematkan ke dalam suatu perangkat elektronik yang tidak tergolong sebagai komputer. Mikrokontroler cenderung murah dan mudah digunakan, serta memungkinkan kita untuk menanamkan kecerdasan komputasi ke hampir semua perangkat elektronik. Dalam penerapannya, mikrokontroler mengorbankan kecepatan tinggi yang dimiliki prosesor komputer pada umumnya untuk mendapatkan keuntungan berupa memori internal dan periferal yang telah terintegrasi di dalamnya. Untuk memperluas poin ini, hampir semua mikrokontroler modern sudah dilengkapi dengan memori data dan memori program non-volatil di dalam chip. Banyak di antaranya juga menyertakan EEPROM non-volatil tambahan untuk menyimpan data kalibrasi, pengaturan konfigurasi sistem, dan lain sebagainya (Horowitz & Hill, 2015).



Gambar 3. Block diagram Atmega328P
Sumber: Datasheet Atmega328P.

Salah satu mikrokontroler yang umum digunakan yaitu Atmega328P, dimana terdapat periferal terintegrasi sebagai berikut:

- Dua *Timer/Counter* 8-bit dengan *prescaler* dan mode pembandingan terpisah
 - Satu *Timer/Counter* 16-bit dengan *prescaler*, mode pembandingan, dan mode tangkap terpisah
 - *Real-time counter* dengan osilator terpisah
 - Enam kanal PWM (*Pulse-Width Modulation*)
 - ADC 8-kanal 10-bit dalam paket TQFP dan QFN/MLF
 - Pengukuran suhu
 - USART serial yang dapat diprogram
- Antarmuka serial SPI *master/slave*

- Antarmuka serial 2-kawat berorientasi byte (kompatibel dengan *Phillips I2C*)
- *Timer* pengawas yang dapat diprogram dengan osilator *on-chip* terpisah
- Komparator analog *on-chip*
- Interupsi dan bangun pada perubahan pin

1.2.7 State of the Art

Berikut ini merupakan penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian yang diajukan dalam desain dan uji performa sensor detak jantung dan *oximeter* berbasis mikrokontroler :

Tabel 1. *State of the Art*.

Referensi	Judul penelitian	Metode	Tujuan yang dicapai
(Amirrudin, et al., 2024)	Heart rate Sensor with IoT features	Mengirim data ke ESP32 untuk koneksi IoT	Menjelaskan prinsip kerja sensor detak jantung untuk membuat alat pemantau detak jantung berbasis internet.
(Pang & Ma, 2014)	A Neo-Reflective Wrist Pulse Oximeter	Modul <i>concave sensor</i> buatan	Mengembangkan devais oximeter untuk dikenakan pada gelang tangan.
(Liu, et al., 2020)	Evaluating Quality of Photoplethymographic Signal on Wearable Forehead Pulse Oximeter With Supervised Classification Approaches	Menggunakan tiga buah sensor	Mengembangkan devais oximeter untuk dikenakan pada dahi.
(Hidalgo-López, 2024)	A Simple Front-End for Pulse Oximeters With a Direct Light-to-Time-to-Digital Interface Circuit	Sensor berbasis FPGA	Implementasi oximeter berbasis FPGA yang dikenakan pada daun telinga.
(Karolcik, et al., 2023)	A Multi-Site, Multi-Wavelength PPG Platform for Continuous Non-Invasive Health Monitoring in Hospital Settings	Akuisisi PPG dari empat <i>channel</i> pada dua lokasi	Melakukan akuisisi sinyal multi-panjang gelombang secara sinkron dari dua lokasi pengukuran dengan hingga 4 panjang gelombang independen

Perbedaan dengan penelitian yang diajukan, yaitu sebagai berikut.

1. Pada penelitian dengan judul “Heart rate Sensor with IoT features”, penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk koneksi IoT dan memiliki wadah yang sedikit besar untuk akomodasi tempat jari yang dibuat menutupi bagian atas jari saat penggunaan. Sedangkan penelitian yang diajukan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang hanya menampilkan data secara *hardware* dengan wadah yang lebih kecil tanpa menutupi bagian atas jari saat penggunaan.
2. Pada penelitian dengan judul “A Neo-Reflective Wrist Pulse Oximeter”, penelitian ini mengusulkan sensor buatan yang berbentuk cekung untuk dikenakan pada gelang dan komunikasi *Wireless Transmission Module* untuk mengirim data dari oximeter buatan ke *smartphone*. Penelitian yang diajukan menggunakan sensor yang sudah jadi dan untuk digunakan dengan sentuhan ujung jari pada permukaan sensor. Data hasil pengukuran dikirim melalui I2C sensor ke layar OLED melalui mikrokontroler.

3. Pada penelitian dengan judul “Evaluating Quality of Photoplethymographic Signal on Wearable Forehead Pulse Oximeter With Supervised Classification Approaches”, penelitian ini berfokus pada pembuatan oximeter untuk situasi dinamis, untuk dikenakan pada dahi dengan menggunakan tiga buah sensor dan mikrokontroler MCU MSP430F5438A dan data hanya dibaca pada PC. Sedangkan penelitian ini berfokus pada pembuatan oximeter untuk situasi statis dengan hanya satu sensor dan data pengukuran ditampilkan pada komponen OLED.
4. Pada penelitian dengan judul “A Simple Front-End for Pulse Oximeters With a Direct Light-to-Time-to-Digital Interface Circuit”, penelitian ini mengimplementasikan oximeter dengan menggunakan sensor SFH7072, dua buah resistor, satu kapasitor dan berbasis FPGA Xilinx Artix 7 XC7A35T tanpa adanya *display*, sedangkan penelitian ini menggunakan sensor MAX30102 dan berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang menampilkan hasil pada OLED.
5. Pada penelitian dengan judul “A Multi-Site, Multi-Wavelength PPG Platform for Continuous Non-Invasive Health Monitoring in Hospital Settings”, penelitian ini berfokus pada metode akuisisi PPG yang unik menggunakan 4 *channel* dari masing-masing pengukuran pada jari dan pengukuran pada pergelangan tangan, sedangkan penelitian ini berfokus untuk penggunaan sehari-hari yang hanya memantau dan menampilkan tanda-tanda vital.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang alat untuk mengukur detak jantung dan kadar oksigen secara *real-time*?
2. Bagaimana prinsip kerja sensor dalam mendeteksi sinyal optik dari pembuluh darah?
3. Apakah sistem yang dirancang mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dalam penggunaan sehari-hari?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain dan merealisasikan prototype alat untuk mengukur detak jantung dan kadar oksigen secara *real-time*
2. Menjelaskan prinsip kerja sensor dalam mendeteksi sinyal optik dari pembuluh darah
3. Mengimplementasikan sistem monitoring dan mengevaluasi kestabilan dan akurasi hasil pengukuran

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan alternatif alat pemantauan kesehatan yang sederhana, portabel dan ekonomis untuk penggunaan secara mandiri
2. Menjadi referensi pengembangan perangkat kesehatan untuk keperluan penelitian lebih lanjut di bidang teknologi Kesehatan
3. Mempermudah masyarakat dalam memantau kondisi kesehatan dasar untuk membantu deteksi dini gangguan kesehatan

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Proyek ini bersifat non-klinis dan hanya ditujukan sebagai prototype sistem monitoring pribadi, bukan sebagai alat medikal resmi
2. Sumber daya alat ini diperoleh melalui koneksi *Mini-B USB* sehingga membutuhkan catu daya external untuk beroperasi
3. Perbandingan hasil hanya dilakukan terhadap alat oximeter komersial, bukan melalui pengukuran medis profesional atau laboratorium klinis.
4. Pengujian dilakukan hanya dalam satu kondisi untuk semua subjek saat pengambilan data

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni – Oktober 2025. Seluruh proses penelitian mulai dari perancangan sistem hingga analisis hasil eksperimen dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Divais, Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin.

2.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan berbagai alat dan bahan yang mendukung proses penelitian, yaitu sebagai berikut.

1. Subjek penelitian, sebagai penguji sensor dan memberi data hasil pembacaan dari sensor.
2. MAX30102, sebagai sensor untuk pengukuran dan pemrosesan data detak jantung dan kadar oksigen dalam darah.
3. Arduino Uno, sebagai pengendali utama yang mengatur seluruh proses akuisisi dan pengolahan data.
4. Layar OLED-SSD1306, untuk menampilkan data hasil pengukuran dari sensor untuk penggunaan pemantauan.
5. Kabel *Mini-B USB*, sebagai koneksi antar mikrokontroler dengan sumber daya atau komputer.
6. Komputer, digunakan untuk melakukan proses perancangan lunak sistem dan pengolahan data.
7. Papan *Printed Circuit Board* (PCB) polos, sebagai wadah untuk seluruh rangkaian.
8. *Software* Arduino IDE, untuk membuat program sistem pengendali dan pengolahan data oximeter.

2.3 Alur Penelitian

Alur penelitian ini menjelaskan tahapan – tahapan penelitian yang dimulai dari studi literatur hingga menghasilkan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

2.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengkajian berbagai referensi yang berhubungan dengan penelitian. Selain itu, penulis juga menganalisis persamaan dan perbedaan pada metode yang digunakan dan hasil yang diperoleh pada referensi yang digunakan.

2.3.2 Perancangan sistem

Tahapan ini mencakup perancangan *hardware* dan perancangan *software* pada sistem.

2.3.3 Eksperimen dan Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan serangkaian eksperimen untuk menguji performa dari prototipe yang telah dibuat. Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh parameter – parameter yang akan dianalisis. Data diperoleh dengan merekam layar tampil dari 2 alat komersil merk berbeda dan alat buatan secara bersamaan saat digunakan oleh beberapa subjek.

2.3.4 Analisis Hasil Eksperimen

Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk menilai apakah prototipe bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis hasil eksperimen mencakup perbandingan antara hasil dari alat sendiri dengan kedua alat komersil, serta evaluasi kelebihan dan kekurangan dari kinerja prototipe.

2.3.5 Kesimpulan

Tahap akhir dari alur penelitian yaitu menarik kesimpulan yang mencakup pencapaian tujuan penelitian, efektivitas prototipe, serta potensi pengembangan prototipe kedepannya.