

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Darah manusia tersusun dari berbagai komponen, termasuk eritrosit, leukosit, dan trombosit. Warna merah darah berasal dari eritrosit karena, mengandung protein yang disebut hemoglobin. Warna merah ini akan tampak lebih cerah saat hemoglobin berikatan dengan oksigen, membentuk *oksihemoglobin* (HbO_2). Hemoglobin memiliki peran vital sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Selain itu, hemoglobin juga membawa karbon dioksida sisa metabolisme dari jaringan kembali ke paru-paru untuk dibuang melalui pernapasan. Oleh karena itu, hemoglobin merupakan salah satu indikator penting dalam bidang biokimia dan biomedis. Metode standar pengukuran kadar hemoglobin memiliki tingkat akurasi yang tinggi, namun pelaksanaannya bersifat *invasive* karena memerlukan pengambilan sampel darah dan penggunaan reagen kimia yang melibatkan proses penghancuran sel darah merah. Prosedur ini tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan dan risiko biologis bagi pasien, tetapi juga membutuhkan fasilitas laboratorium, tenaga medis terlatih, serta waktu pemeriksaan yang relatif lama, sehingga kurang efektif untuk pemantauan kadar hemoglobin secara berulang (Umar dan Alyah, 2020).

Penyakit yang berhubungan dengan kadar hemoglobin dalam darah yaitu anemia. Anemia merupakan salah satu masalah gizi mikro yang serius, dengan populasi tertinggi di negara berkembang, termasuk Indonesia. Anemia di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh kekurangan zat besi. Kelompok masyarakat yang rawan terkena anemia adalah anak-anak, remaja, ibu hamil dan menyusui serta pekerja berpenghasilan rendah (Almatsier, 2003). Pemantauan kadar hemoglobin merupakan aspek penting dalam evaluasi kesehatan, terutama untuk mendeteksi kondisi seperti anemia, penyakit paru-paru, sesak nafas dan mual. Metode konvensional untuk memantau kadar hemoglobin biasanya melibatkan pengambilan sampel darah, yang

bersifat *invasive*, memakan waktu, dan sering kali menimbulkan ketidaknyamanan. Sebagai alternatif, pendekatan *non-invasive* yaitu metode atau prosedur yang dilakukan tanpa menembus kulit, tanpa pengambilan darah, dan tanpa merusak jaringan tubuh. Teknologi ini menggunakan sensor optik, seperti *Photoplethysmography* (PPG) yang terdapat pada sensor MAX30100, untuk mengukur parameter darah tanpa memerlukan pengambilan sampel langsung. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan algoritma *machine learning*, yang menunjukkan keunggulan dalam klasifikasi data dengan akurasi tinggi. Salah satu algoritma yang digunakan adalah *K-Nearest Neighbors* (KNN), yaitu metode berbasis jarak yang mengklasifikasikan atau memprediksi suatu data berdasarkan kedekatannya dengan sejumlah k data terdekat dalam ruang fitur. Algoritma ini efektif dalam menangkap pola hubungan non-linear pada data dan relatif sederhana untuk diimplementasikan. Penelitian oleh Munadi dkk.(2022), mengembangkan perangkat pemantauan hemoglobin *non-invasive* menggunakan sensor MAX30100 yang mengukur saturasi oksigen (SpO2) melalui *Photoplethysmography* (PPG), kemudian dianalisis dengan algoritma *K-Nearest Neighbor* (KNN) dan *Artificial Neural Network Back Propagation* (ANN-BP). Perangkat ini terdiri dari NodeMCU sebagai mikrokontroler dan platform *ThingSpeak* untuk penyimpanan data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KNN memiliki akurasi 94,01% dan waktu pemrosesan rata-rata 6,09 detik, lebih unggul dibandingkan ANN-BP dengan akurasi 92,45% dan waktu 6,84 detik. Namun demikian, pendekatan ini masih memiliki beberapa kelemahan, antara lain akurasi yang tidak selalu konsisten pada saat kondisi pencahayaan yang buruk akibat pergerakan tangan yang tidak stabil, variasi data yang dipakai untuk pelatihan model *machine learning* ini terbatas, sehingga berpotensi mengurangi kemampuan model untuk mendapatkan hasil yang akurat serta model prediksi yang dikembangkan belum menggunakan nilai hemoglobin *invasive* sebagai acuan standar laboratorium, sehingga performa dan akurasi alat dalam kondisi nyata belum dapat dikonfirmasi secara pasti.

Penelitian oleh Sutiari dkk.(2023)membuat alat pendeteksi hemoglobin menggunakan sensor MAX30102 pendeteksi kadar hemoglobin dan mikrokontroler

ATmega328 sebagai pengolah data yang ditampilkan pada layar LCD 16x2, dilengkapi dengan *buzzer* sebagai indikator peringatan, hasil pengujian menunjukkan bahwa alat pengukur kadar hemoglobin *non-invasive* mampu mengukur kadar Hb tanpa melukai pasien, dengan rata-rata selisih hanya 0,8 g/dL dan persentase error sebesar 0,04% pada laki-laki serta 0,05% pada perempuan. Nilai hasil pengukuran ditampilkan pada LCD, dan *buzzer* akan menyala jika nilai Hb melebihi batas normal. Meskipun alat ini efektif, efisien, dan memberikan kenyamanan bagi pasien, kekurangannya adalah belum adanya fitur penyimpanan data hasil pengukuran dan belum mendukung pengukuran jarak jauh.

Penelitian yang dilakukan oleh Umar dan Alyah (2020) berhasil mengembangkan alat pengukur kadar hemoglobin darah secara *non-invasive* menggunakan sensor Near Infrared (NIR) LED dengan panjang gelombang 940 nm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat ini mampu memberikan estimasi kadar hemoglobin dengan error maksimum sekitar 6% dibandingkan dengan metode *invasive*. Analisis regresi yang dilakukan juga menunjukkan adanya hubungan linier yang signifikan antara tegangan keluaran sensor dengan konsentrasi hemoglobin. Alat ini dirancang dengan komponen utama berupa LED inframerah sebagai sumber cahaya, photodiode sebagai penerima cahaya pantulan, mikrokontroler untuk pemrosesan sinyal, *amplifier* (OP-AMP) untuk memperkuat sinyal, serta LCD sebagai media tampilan hasil pengukuran. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Stabilitas sensor yang digunakan belum optimal, sehingga pembacaan kadar hemoglobin cenderung mengalami fluktuasi antar pengukuran. Selain itu, akurasi alat masih terbatas karena hasil pengukuran *non-invasive* masih menunjukkan deviasi terhadap nilai hemoglobin dari metode *invasive*. Metode analisis yang digunakan pun masih berbasis regresi linier sederhana, yang kurang mampu menggambarkan pola hubungan non-linier antara intensitas cahaya pantulan dan konsentrasi hemoglobin sebenarnya. Selain itu, penelitian ini belum diuji dalam skala klinis yang lebih luas, sehingga keandalannya dalam berbagai kondisi fisiologis dan lingkungan belum dapat dipastikan sepenuhnya.

Penerapan teknologi pemantauan hemoglobin *non-invasive* juga sejalan dengan prinsip *Zero Waste*, yang menekankan pada pengurangan limbah dan optimalisasi penggunaan sumber daya. Tidak seperti metode konvensional yang membutuhkan alat sekali pakai, pendekatan *non-invasive* berbasis sensor optik seperti MAX30102 tidak menghasilkan limbah medis yang signifikan. Dengan demikian, teknologi ini mendukung efisiensi operasional difasilitas kesehatan dan secara langsung mengurangi volume limbah medis berbahaya yang perlu dikelola secara khusus (WHO, 2018). Selain memberikan manfaat dari segi efektivitas biaya, penerapan sistem *non-invasive* ini juga berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan, sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya tujuan nomor 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (UNDP, 2020). Oleh karena itu, pengembangan perangkat pemantauan hemoglobin yang portabel, hemat energi, dan minim limbah merupakan langkah strategis menuju teknologi kesehatan masa depan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dalam upaya menyempurnakan pendekatan pemantauan hemoglobin *non-invasive* yang telah dilakukan oleh Munadi dkk. (2022), Sutiari dkk. (2023), dan Umar dan Alyah (2020), penelitian ini mengembangkan perangkat pemantauan hemoglobin berbasis sensor MAX30102 yang dilengkapi dengan resolusi ADC yang lebih tinggi, tingkat sensitivitas optik yang lebih baik, serta konsumsi daya yang lebih rendah. Selain itu, MAX30102 mampu menghasilkan sinyal *Photoplethysmography* (PPG) yang lebih stabil, dibandingkan pendahulunya, yaitu sensor MAX30100. Sensor MAX30102 mampu membaca sinyal *Photoplethysmography*(PPG) dengan lebih akurat sehingga meningkatkan kualitas data yang diperoleh. Sistem ini bekerja dengan mengawali proses dari input data demografis pengguna, yang kemudian diikuti dengan pengaktifan Raspberry pi dan sensor MAX30102, yang memancarkan cahaya merah dan inframerah (IR) melalui LED untuk mendeteksi sinyal PPG dari jaringan tubuh. Setelah data sinyal diperoleh dan diproses, sistem mengekstraksi fitur penting seperti nilai rata-rata dan rasio intensitas, lalu menggabungkannya dengan data demografis (yang diinput oleh pengguna) sebagai masukan ke algoritma *K-Nearest Neighbors*

(KNN). Hasil prediksi kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa kategori kondisi kesehatan, yaitu normal, anemia sedang dan anemia berat. Seluruh informasi hasil pengukuran ditampilkan secara *real-time* pada layar OLED perangkat dan juga melalui tampilan web sebagai antarmuka demonstrasi, sehingga pengguna dapat memantau kadar hemoglobin dengan mudah baik melalui perangkat.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alat pemantau kadar hemoglobin (Hb) dalam darah secara *non-invasive* menggunakan sensor optik MAX30102 yang mendeteksi sinyal PPG dari permukaan kulit, serta dilengkapi algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) untuk mengolah data dan mengklasifikasikan kadar Hb secara akurat, *real-time*, dan portabel.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian memiliki manfaat untuk memberikan alternatif alat pemantau kadar hemoglobin yang bersifat non-invasif sehingga dapat digunakan tanpa pengambilan darah, sehingga lebih nyaman dan ramah bagi pasien maupun masyarakat umum. Alat ini berpotensi dimanfaatkan oleh tenaga medis, fasilitas kesehatan, maupun individu yang membutuhkan pemantauan kadar hemoglobin secara berkala, seperti penderita anemia, ibu hamil, atau pasien pasca operasi. Dengan memanfaatkan sensor optik dan penerapan algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN), sistem mampu menentukan kadar hemoglobin secara cepat, *real-time*, dan akurat, sehingga dapat mendukung deteksi dini anemia dan pemantauan kondisi kesehatan secara lebih efektif. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi kesehatan non-invasif berbasis machine learning serta dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan dalam inovasi perangkat medis portabel berbasis *Internet of Things* (IoT).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. sensor MAX30102, yang dilengkapi dengan dua LED (merah dan inframerah) untuk mendeteksi sinyal PPG yang digunakan untuk prediksi kadar hemoglobin.
2. Data yang di perlukan sebagai data pembandingnya yaitu 164 data terdiri dari 50 data anemia dan 114 data hemoglobin normal.
3. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) untuk menganalisis data optik yang diperoleh dari sensor dan memprediksi kadar hemoglobin berdasarkan pola sinyal PPG.
4. Hasil pembacaan dari sensor dan pengolahan dari *Machine learning* hanya akan ditampilkan pada layar OLED pada prototipe dan tampilan web.
5. Batasan penelitian mencakup subjek laki-laki dan perempuan dewasa dengan kondisi kesehatan umum. Data hemoglobin yang digunakan merupakan hasil pengukuran laboratorium (*invasive*) yang diambil dan digunakan sebagai acuan untuk membandingkan dan menilai keakuratan hasil prediksi hemoglobin dari alat yang dikembangkan.

Dengan ruang lingkup ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan alat ukur kadar hemoglobin yang lebih efisien dan akurat menggunakan teknologi *non-invasive* dan algoritma *machine learning*.

