

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai prediksi kadar hemoglobin *non-invasive* menggunakan sensor MAX30102 dan algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor MAX30102 terbukti mampu menghasilkan sinyal optik yang stabil setelah fase adaptasi awal selama 10 detik. Karakterisasi menunjukkan bahwa nilai rasio Red/IR berada dalam kondisi *steady-state* pada rentang waktu 10–60 detik, sehingga layak digunakan sebagai data input untuk proses estimasi kadar hemoglobin *non-invasive*.
2. Pendekatan regresi linear tidak mampu menjelaskan hubungan kompleks antara rasio Red/IR dan kadar hemoglobin *invasive*, yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata error sebesar 10,49%. Hal ini menegaskan bahwa hubungan antara sinyal PPG dan kadar hemoglobin bersifat non-linear dan dipengaruhi oleh berbagai faktor fisiologis serta teknis.
3. Penerapan algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) berhasil meningkatkan akurasi dengan nilai R^2 sebesar 0,9876 dan rata-rata error sebesar 1,05%, dan sistem mampu menentukan kadar hemoglobin dengan tingkat kesalahan yang rendah, yaitu pada rentang 0,14% hingga 2,46%, dengan rata-rata error sebesar 1,05%. Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi penelitian dan mendekati hasil pemeriksaan *invasive* sebagai standar rujukan.
4. Model klasifikasi status anemia menunjukkan performa yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh nilai akurasi, precision, recall, dan F1-score sebesar 1,00 untuk kelas Normal, Anemia Ringan, dan Anemia Sedang. Tidak adanya kesalahan klasifikasi menandakan bahwa fitur masukan dan model yang digunakan telah mampu merepresentasikan perbedaan karakteristik tiap kategori anemia secara jelas.

5. Sistem yang dirancang telah berfungsi secara terintegrasi dan *real-time*, meliputi akuisisi data sensor, pemrosesan pada Raspberry Pi 3 Model B, tampilan hasil pada layar OLED, serta penyajian data melalui antarmuka web. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan layak digunakan sebagai sistem pengukuran hemoglobin *non-invasive* berbasis teknologi optik dan *machine learning*.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Pengujian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar dan lebih beragam sangat disarankan, terutama pada subjek dengan kondisi anemia berat, untuk meningkatkan validitas dan generalisasi model pada populasi yang lebih luas.
2. Perlu dilakukan pengujian menggunakan data independen (*external validation*) guna memastikan bahwa performa model tidak dipengaruhi oleh *overfitting* dan tetap konsisten ketika diaplikasikan pada kondisi nyata.
3. Pengembangan model *machine learning* lain seperti Random Forest, Support Vector Regression (SVR), atau Neural Network dapat dilakukan sebagai pembandingan untuk mengetahui potensi peningkatan akurasi dan robustness sistem.
4. Penambahan fitur sinyal PPG lain, seperti amplitudo, waktu naik (*rise time*), atau fitur domain frekuensi, berpotensi meningkatkan kemampuan model dalam menangkap karakteristik fisiologis pengguna secara lebih komprehensif.
5. Optimasi desain mekanik dan ergonomi sensor perlu dilakukan untuk meminimalkan pengaruh tekanan jari dan pergerakan pengguna, sehingga kualitas sinyal yang diperoleh menjadi lebih konsisten.

6. Pengembangan sistem ke arah aplikasi klinis dapat dilakukan dengan menambahkan fitur penyimpanan data historis, identifikasi pengguna, serta integrasi dengan sistem rekam medis digital, sehingga alat dapat digunakan sebagai perangkat skrining anemia yang praktis dan berkelanjutan.

