

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan model Tabular Transformer untuk klasifikasi penyakit jantung berbasis data klinis dengan performa yang tinggi. Tahapan preprocessing seperti label encoding, normalisasi menggunakan StandardScaler, serta pembagian dataset secara stratified terbukti memberikan fondasi yang baik dalam menghasilkan model yang stabil dan mampu melakukan generalisasi dengan baik. Mekanisme self-attention pada Transformer memungkinkan model menangkap hubungan kompleks antar fitur klinis, termasuk interaksi non-linear yang sulit ditangani oleh metode konvensional.

Penerapan Particle Swarm Optimization (PSO) dalam optimasi hyperparameter terbukti meningkatkan performa model, yang ditunjukkan melalui peningkatan akurasi dari 88.96% menjadi 94.16%. Selain itu, hasil evaluasi menggunakan precision, recall, F1-score, dan AUC menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan klasifikasi yang seimbang dalam membedakan pasien berisiko dan tidak berisiko penyakit jantung. Analisis interpretabilitas menggunakan SHAP juga mengonfirmasi bahwa fitur-fitur seperti detak jantung maksimum, depresi ST, kolesterol, dan usia memiliki pengaruh signifikan terhadap prediksi, sehingga hasil model tetap relevan secara klinis.

Selain itu, model yang telah dikembangkan berhasil diimplementasikan ke dalam sistem berbasis web menggunakan framework Flask. Hasil deploy menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan prediksi secara real-time dengan waktu respon yang cepat dan hasil yang konsisten dengan evaluasi model. Hal ini menegaskan bahwa model tidak hanya unggul secara teoritis, tetapi juga memiliki tingkat kesiapan implementasi yang baik sebagai sistem pendukung keputusan dalam deteksi dini penyakit jantung.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta beberapa keterbatasan yang ditemukan selama proses penelitian, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi di bidang nyata.

5.2.1 Saran untuk Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini masih memiliki ruang yang cukup luas untuk dikembangkan lebih jauh. Beberapa hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

- a. Menggunakan dataset yang lebih besar dan berasal dari berbagai sumber agar kemampuan generalisasi model lebih baik dalam menghadapi data dunia nyata.
- b. Mengeksplorasi arsitektur model lain atau pendekatan *hybrid*, misalnya kombinasi Transformer dengan model *machine learning* tradisional, untuk memperoleh perbandingan performa yang lebih komprehensif.
- c. Membandingkan PSO dengan metode optimasi *hyperparameter* lain seperti *Genetic Algorithm*, *Bayesian Optimization*, atau pendekatan *hybrid optimization* guna menemukan hasil yang lebih optimal.
- d. Menambahkan teknik penanganan data tidak seimbang seperti SMOTE pada kondisi distribusi kelas yang tidak merata, sehingga model lebih mampu mengenali kelas minoritas.
- e. Memperluas aspek interpretabilitas dengan menambahkan metode seperti LIME agar hasil prediksi model lebih mudah dipahami oleh tenaga medis maupun pengguna dari latar belakang non-teknis.

5.2.2 Saran Pengembangan Sistem

Selain pengembangan dari sisi penelitian, model yang dihasilkan juga memiliki potensi besar untuk diwujudkan dalam bentuk sistem yang lebih aplikatif. Beberapa rekomendasi pengembangan sistem yang dapat dilakukan meliputi:

- a. Mengembangkan sistem berbasis web yang telah dibangun menjadi aplikasi yang lebih komprehensif, seperti versi mobile atau sistem berbasis cloud,

agar dapat diakses secara lebih luas dan mendukung penggunaan dalam skala yang lebih besar.

- b. Mengintegrasikan sistem ke dalam rekam medis elektronik sehingga proses prediksi dapat berjalan secara otomatis berdasarkan data pasien yang tersedia
- c. Membangun *dashboard* visualisasi interaktif untuk membantu pengguna memahami hasil prediksi serta distribusi data secara lebih intuitif.
- d. Menambahkan fitur rekomendasi awal berbasis hasil prediksi, sehingga sistem tidak hanya menghasilkan klasifikasi risiko, tetapi juga menyediakan informasi pendukung yang dapat menjadi pertimbangan bagi tenaga kesehatan dalam menentukan langkah tindak lanjut.

5.2.3 Batasan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, antara lain:

- a. Dataset yang digunakan masih terbatas sehingga belum sepenuhnya mewakili kondisi populasi yang lebih luas.
- b. Proses optimasi hyperparameter menggunakan PSO masih terbatas pada jumlah iterasi dan ruang pencarian tertentu.
- c. Pengujian model masih dilakukan pada lingkungan simulasi dan belum diuji secara langsung pada lingkungan klinis atau pengguna dalam skala besar.
- d. Variabel yang digunakan masih terbatas pada fitur yang tersedia dalam dataset, sehingga belum mencakup seluruh aspek klinis secara menyeluruh.

Keterbatasan ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan penelitian selanjutnya agar model yang dihasilkan dapat menjadi lebih optimal, akurat, dan siap diimplementasikan pada lingkungan nyata.