

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Allogeneic hematopoietic stem cell transfer (allo-HCT) merupakan pengobatan kuratif bagi pasien dengan berbagai gangguan hematologi melalui pemindahan sel punca hematopoietik pendonor yang sehat ke pasien penerima untuk membentuk kembali sistem kekebalan tubuh (Robinson dkk., 2023). Penggunaan allo-HCT meningkat dalam beberapa dekade terakhir, tetapi risiko morbiditas dan mortalitas pasca allo-HCT tetap signifikan (Rocha dkk., 2021). Pendekatan berbasis *bagging* dan *boosting* telah diterapkan dalam meningkatkan prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT, tetapi aspek keadilan (*fairness*) dalam model masih kurang mendapat perhatian khusus yang dapat menyebabkan bias dalam pengambilan keputusan klinis.

Permasalahan utama yang muncul adalah adanya disparitas dalam tingkat kelangsungan hidup antar kelompok ras dan etnis. Laporan dari Center for International Blood and Marrow Transplant Research (CIBMTR) tahun 2023 menyatakan bahwa pasien kulit hitam/Afrika-Amerika memiliki insidensi kematian lebih tinggi dibanding ras dan etnis lain, terutama setelah menerima MUD (*Matched Unrelated Donor*). Tingkat kelangsungan hidup yang lebih rendah ini diperkirakan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor biologis, tetapi juga determinan sosial seperti akses kesehatan dan ekonomi (Auletta dkk., 2023). Disparitas rasial mencerminkan ketidaksetaraan dalam data, sehingga pengembangan model harus mempertimbangkan aspek keadilan (*fairness*) untuk mengatasi hal tersebut.

Penelitian terdahulu telah mengaplikasikan berbagai pendekatan berbasis *bagging* dan *boosting* untuk prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT. Kedua pendekatan ini bekerja dengan menggabungkan beberapa model *baseline* (biasanya *Decision Tree*) untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas prediksi. Penelitian (Choi dkk., 2022) menggunakan *Gradient Boosting Machine* (GBM) untuk prediksi kelangsungan hidup dalam lima tahun dengan AUC 0,75. Penelitian (Hernandez dkk., 2024) menunjukkan bahwa *Random Survival Forest* (RSF) dapat mencapai C-Index 0,626 dalam prediksi *overall survival* (OS). Penelitian (Iwasaki dkk., 2022) menghasilkan C-Index yang lebih tinggi, yaitu sebesar 0,670. Penelitian ini mengeksplorasi berbagai algoritma *bagging* dan *boosting*, mencakup RSF, ADABOOST, XGBoost, Extra Tree Classifier, Bagging Classifier dan Gradient Boosting Classifier.

Kesenjangan dalam penelitian terletak pada belum adanya penerapan konsep *fairness* untuk model prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT. Sehingga, penelitian ini mengusulkan integrasi teknik *fairness regression* pada model berbasis *bagging* dan *boosting* untuk prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT. Teknik *fairness regression* yang disingkat menjadi FaiReg diperkenalkan pada penelitian (Mohamed & Schuller, 2022) untuk meningkatkan keadilan tanpa mengorbankan akurasi model. FaiReg melakukan normalisasi pada label data sehingga distribusi prediksi model tidak dapat mengeksploitasi informasi tersembunyi pada kelompok terlindungi. Teknik *fairness regression* mampu menurunkan *Statistical Parity* (SP), sehingga distribusi prediksi menjadi lebih seimbang dan adil.

Berdasarkan deksripsi permasalahan dan solusi tersebut, penelitian ini ditujukan untuk membuat model prediksi kelangsungan hidup bagi pasien pasca allo-HCT dengan menggunakan *bagging* dan *boosting* dengan teknik *fairness regression*. Penggunaan teknik *fairness regression* bertujuan untuk mengurangi bias prediksi yang secara tidak langsung merugikan kelompok ras tertentu. *Hyperparameter tuning* juga dilakukan untuk menemukan kombinasi parameter optimal pada setiap algoritma. Hasil eksperimen ditargetkan menghasilkan model dengan performa yang setara atau mendekati penelitian sebelumnya, tetapi dengan *statistical parity* (SP) yang lebih rendah pada dataset terkait. Penelitian ini berkontribusi dalam mengatasi disparitas rasial performa model pada kelompok ras, sehingga mendukung evaluasi pasca allo-HCT yang adil bagi pasien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Seberapa besar peningkatan performa *bagging* dan *boosting* dibandingkan model *baseline* dalam prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT?
2. Bagaimana pengaruh teknik *fairness regression* terhadap performa *fairness* antar kelompok ras dalam model *bagging* dan *boosting*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Mengevaluasi performa model berbasis *bagging* dan *boosting* dalam meningkatkan prediksi kelangsungan hidup pasien pasca allo-HCT dibandingkan model *baseline* menggunakan evaluasi C-Index dan AUC-ROC.

2. Menganalisis teknik *fairness regression* dalam menurunkan bias antar kelompok ras melalui indikator *Statistical Parity* (SP).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini, baik secara teoretis maupun secara praktis antara lain:

1. Secara teoritis, penelitian ini menyajikan hasil eksplorasi yang komprehensif mengenai kinerja berbagai model *bagging* dan *boosting* dalam tugas prediksi kelangsungan hidup. Penerapan teknik *fairness regression* dapat menjadi referensi mengenai solusi isu keadilan dalam regresi *machine learning*.
2. Secara praktis, penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi tenaga medis dalam merencanakan perawatan yang lebih adil dan efektif bagi pasien allo-HCT. Dengan probabilitas bertahan hidup yang dihasilkan, tenaga medis dapat memastikan setiap pasien dari berbagai kelompok ras menerima perawatan yang dibutuhkan.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Dataset yang digunakan merupakan data sintetis yang dikeluarkan secara langsung oleh Center for International Blood and Marrow Transplant Research (CIBMTR) pada *Kaggle Competitions*. Dataset dapat diakses melalui tautan <https://www.kaggle.com/competitions/equity-post-HCT-survival-predictions/data>.

2. Model *machine learning* yang digunakan dalam mencakup model *baseline* (*Decision Tree*), metode *bagging*: *Random Forest* (Meyer dkk., 2024) serta metode *boosting*: *Gradient Boosting Machine* (Choi dkk., 2022), *Light Gradient Boosting Machine*, *Adaptive Boosting* dan *Extreme Gradient Boosting* (Iwasaki dkk., 2022), ditambah *Categorical Boosting* (CatBoost).
3. Teknik *fairness regression* yang diimplementasikan berfokus pada *Faireg*, yaitu normalisasi pada label tanpa menyeimbangkan distribusi data seperti *FaiRegH*.
4. Konteks keadilan pada penelitian ini dibatasi hanya untuk kelompok ras, tanpa melibatkan kelompok etnis.
5. Evaluasi performa model prediksi dilakukan menggunakan *Concordance Index* (C-Index) dan *time-dependent ROC*, sementara evaluasi *fairness* menggunakan *Statistical Parity* (SP).

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika laporan penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi pembahasan mengenai teori-teori yang relevan dengan penelitian, termasuk konsep, metode, dan algoritma yang digunakan. Selain itu, bab ini juga menjelaskan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan serta menjelaskan kebaruan dari penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian serta tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil penelitian serta membahas rancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pembahasan mencakup pembuatan model dan algoritma yang digunakan, serta hasil skema pengujian pada setiap model.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.