DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
PERNYATAAN KEASLIAN DAN BEBAS PLAGIAT ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR TABEL ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**
ABSTRAK ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Penelitian dan Asumsi 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II LANDASAN TEORI **7**
2.1 Proses Produksi Industri Kayu 7
2.2 Proses Pengeringan Kayu 8
2.2.1 Pengertian Pengeringan Kayu 8
2.2.2 Metode Pengeringan Kayu 9
2.2.3 Permasalahan Umum dan Cacat Pengeringan Kayu 12
2.3 *Moisture Content* Kayu 13
2.4 Teknologi Prediksi dalam Sistem Manufaktur 14
2.4.1 Konsep Sistem Prediksi dalam Proses Manufaktur 14

2.4.2 Penerapan Sistem Prediksi Pada Proses Pengeringan Kayu .. 16
2.5 *Artificial Intelligence* 17
2.6 *Machine learning* 18
2.6.1 Pengertian *Machine learning* 18
2.6.2 Jenis-jenis *Machine learning* 19
2.6.3 *Linear Regression* 21
2.6.4 *Random Forest* 24
2.6.5 *Extra Trees Regressor* 27
2.6.6 *Gradient Boosting Regressor* 29
2.6.7 *Extreme Gradient Boosting* 31
2.6.8 Tahapan Pengembangan Model *Machine learning* 34
2.7 Penelitian Terdahulu 42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 47
3.1 Objek Penelitian 47
3.2 Deskripsi Sistem 47
3.3 Kerangka dan Tahapan Penelitian 53
3.4 Metode Pengumpulan Data 57
3.5 Pengolahan Data 60
3.5.1 Penggabungan dan Penyelarasan Data 62
3.5.2 *Exploratory Data Analysis* 62
3.5.3 *Data Preprocessing* 62
3.5.4 *Feature Engineering* 64
3.5.5 Pembagian *Dataset* 64
3.5.6 Augmentasi Data Pelatihan 64
3.5.7 Persiapan Data Pemodelan 65

3.5.8 Pengembangan Model 66
3.5.9 Evaluasi model 95
3.5.10 *Deployment* model 98
3.6 Alat Pengolahan Data 99
3.7 Analisis Hasil 99
3.8 Kesimpulan dan Saran 100
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 101
4.1 Pengumpulan Data 101
4.2 Penggabungan dan Penyelarasan Data 105
4.3 *Exploratory Data Analysis* 108
4.4 *Data Preprocessing* 115
4.4.1 Penyesuaian Tipe Data 115
4.4.2 Penanganan Data Duplikat 116
4.4.3 Penanganan *Missing Value* 116
4.4.4 Agregasi Data 116
4.5 *Feature Engineering* 118
4.6 Pembagian *Dataset* 121
4.7 Augmentasi Data 122
4.8 Pengembangan Model 127
4.8.1 Persiapan Data Pemodelan 127
4.8.2 Pelatihan Model 129
4.8.3 Perbandingan Model 131
4.8.4 *Hyperparameter Tuning* 133
4.8.5 *Blending* Model 137
4.9 Evaluasi Model 139

4.9.1 Validasi 139
4.9.2 Analisis *Feature Importance* 142
4.10 Perbandingan Model Tanpa Fitur Cuaca 144
4.11 *Deployment Model* 151
4.11.1 Penyimpanan Model 151
4.11.2 Integrasi Model ke Aplikasi 153
4.11.3 Pengujian Aplikasi 155
4.12 Pembahasan 157
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 160
5.1 Kesimpulan 160
5.2 Saran 160
DAFTAR PUSTAKA 162
LAMPIRAN 171

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Range* nilai MAPE 41
Tabel 2.2 Perbandingan penelitian terdahulu 45
Tabel 3.1 Rincian metode pengumpulan data 60
Tabel 4.1 *Kiln dry* mahoni Januari 2024 - Maret 2026 101
Tabel 4.2 *Kiln dry* jati Januari 2024 - Maret 2026 102
Tabel 4.3 Rangkuman jumlah papan dan volume per ketebalan 102
Tabel 4.4 Data rangkuman asal pembelian kayu 103
Tabel 4.5 Rekapitulasi data cuaca historis Januari 2024 - Maret 2026 104
Tabel 4.6 Rangkuman MC akhir Januari 2024 - Maret 2026 105
Tabel 4.7 Struktur *dataset* hasil penggabungan dan penyelarasan 106
Tabel 4.8 *Raw dataset* 107
Tabel 4.9 Tipe data fitur 108
Tabel 4.10 Rangkuman skor *baseline* setiap model 131
Tabel 4.11 Skor hasil *tuning* 136
Tabel 4.12 Hasil evaluasi model 140
Tabel 4.13 Hasil pelatihan model skenario 2 145
Tabel 4.14 Hasil *Hyperparameter Tuning* model skenario 2 145
Tabel 4.15 *Feature Importance Extra Trees Tuned* skenario 2 147
Tabel 4.16 Rangkuman hasil kedua skenario 149
Tabel 4.17 Rangkuman nilai *Feature Importance* 150
Tabel 4.18 Spesifikasi teknik *deployment* 155
Tabel 4.19 Detail parameter tiga skenario 155
Tabel 4.20 Hasil prediksi ketiga skenario 156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi jenis retak kayu 12
Gambar 2.2 Lingkup deep learning, machine learning, dan artificial intelligence 18
Gambar 2.3 Klasifikasi dan regresi 20
Gambar 2.4 *Machine learning lifecycle* 34
Gambar 2.5 Ilustrasi LOOCV 38
Gambar 2.6 Ilustrasi K-Fold *cross validation* 39
Gambar 2.7 Ilustrasi *stratified cross-validation* 39
Gambar 3.1 (a) Proses pemotongan *sawmill* dan (b) penyimpanan kayu gelondong 48
Gambar 3.2 (a) *Kiln* 3 dan (b) antrean papan basah 49
Gambar 3.3 (a) Cacat pecah dan (b) cacat kutu 50
Gambar 3.4 Penyusunan papan kayu ke dalam *kiln* 50
Gambar 3.5 Papan kayu setelah dibongkar 51
Gambar 3.6 Deskripsi sistem 52
Gambar 3.7 Diagram alir kerangka penelitian 55
Gambar 3.8 Diagram alir pengolahan data 61
Gambar 3.9 Representasi *Multiple Linear Regression* 67
Gambar 3.10 Representasi algoritma *Random Forest* 70
Gambar 3.11 Representasi algoritma *Extra Trees Regressor* 76
Gambar 3.12 Representasi algoritma *Gradient Boosting Regressor* 82
Gambar 3.13 Representasi algoritma XGBoost 88
Gambar 4.1 Distribusi variabel target: (a) histogram dengan KDE, (b) *boxplot*, dan (c) Q-Q plot 109
Gambar 4.2 (a) Rata-rata durasi per bulan dengan error bar ± standar deviasi dan (b) jumlah *batch* per bulan 110
Gambar 4.3 Distribusi variabel kategorikal: (a) frekuensi per jenis kayu dan (b) frekuensi per ketebalan dalam cm 111

Gambar 4.4 *Violin plot* distribusi fitur numerik: (a) ketebalan_cm, (b) jumlah_lembar, (c) volume_m3, (d) kelembaban_pct, (e) curah_hujan_mm, (f) suhu_maks_c, (g) dan suhu_min_c 112
Gambar 4.5 *Heatmap* korelasi Pearson antar variabel numerik 113
Gambar 4.6 *Scatter plot*: (a) ketebalan_cm, (b) kelembaban_pct, (c) curah_hujan_mm, (d) suhu_maks_c, (e) vol_total_m3, dan (f) jumlah_lembar 114
Gambar 4.7 Hubungan setiap fitur baru hasil rekayasa dengan variabel target 120
Gambar 4.8 (a) Perbandingan distribusi durasi data asli dan data sintetis dan (b) proporsi setelah augmentasi 126
Gambar 4.9 Perbandingan seluruh model *baseline*: (a) MAE, (b) RMSE, (c) R2, dan (d) MAPE..... 132
Gambar 4.10 Perbandingan hasil *baseline*, *tuning*, dan *blending*: (a) MAE, (b) RMSE, (c) R2, dan (d) MAPE..... 138
Gambar 4.11 Hasil validasi model terbaik: (a) aktual vs prediksi diurutkan, (b) sebarang nilai aktual vs prediksi, (c) distribusi residual, dan (d) persentase prediksi dalam toleransi *error*..... 141
Gambar 4.12 (a) *Feature Importance baseline*, (b) kontribusi fitur, dan (c) kurva komulatif..... 143
Gambar 4.13 Hasil *baseline*, *tuned*, dan *blended* skenario 2: (a) MAE, (b) RMSE), (c) R2), dan (d) MAPE 146
Gambar 4.14 Hasil evaluasi skenario 2: (a) *Line chart* perbedaan hasil prediksi, (b) *Scatter plot* perbedaan hasil prediksi, (c) Distribusi residual, dan (d) persentase toleransi error 148
Gambar 4.15 Tampilan desain hasil *deploy* model 154