

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI, LAMBANG DAN SINGKATAN	xi
INTISARI	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	14
I.1. Latar Belakang	14
I.2. Rumusan Masalah	17
I.3. Batasan Masalah	17
I.4. Keaslian Penelitian	18
I.5. Tujuan Penelitian	19
I.6. Manfaat Penelitian	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	21
II.1. Tinjauan Pustaka	21
II.1.1. Penerapan ML dalam Akselerator	21
II.1.1.1. Pemodelan dan Kontrol Prediktif	21
II.1.1.2. Deteksi Anomali dan Diagnostik	22
II.1.1.3. Pengembangan Sistem Kendali Akselerator	23
II.2. Landasan Teori	23
II.2.1. MBE	23
II.2.2. Siklotron	26
II.2.3. <i>Machine Learning</i>	29
II.2.4. Model Regresi ML	30
II.2.5. <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	31
II.2.6. <i>Random Forest</i>	38





II.2.7. Metrik Evaluasi	40
II.3. Pertanyaan Penelitian	42
II.4. Hipotesis	42
BAB III METODE PENELITIAN	43
III.1. Alat dan Bahan	43
III.1.1. Alat	43
III.1.2. Bahan	43
III.2. Prosedur Penelitian	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
IV.1. Pengumpulan Data	49
IV.1.1. Pengumpulan Data MBE	49
IV.1.2. Pengumpulan Data Siklotron	50
IV.2. Pengolahan Data	52
IV.2.1. Pengolahan Data MBE	52
IV.2.2. Pengolahan Data Siklotron	58
IV.3. Perancangan Model	67
IV.3.1. Model ANN	67
IV.3.1.1. Model ANN Data MBE	69
IV.3.1.2. Model ANN Data Siklotron	71
IV.3.2. Model <i>Random Forest</i>	72
IV.3.2.1. Model <i>Random Forest</i> Data MBE	74
IV.3.2.2. Model <i>Random Forest</i> Data Siklotron	75
IV.4. Evaluasi Model	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
V.1. Kesimpulan	80
V.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83





DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Tampilan cuplikan data operasi dari MBE	49
Tabel 4.2.	Parameter model pada MBE	50
Tabel 4.3.	Tampilan cuplikan data operasi dari Siklotron	50
Tabel 4.4.	Parameter model Siklotron	51
Tabel 4.5.	Tampilan data dari dataset MBE	52
Tabel 4.6.	Deskripsi statistik data MBE	53
Tabel 4.7.	Normalisasi data MBE dengan <i>StandardScaler</i>	55
Tabel 4.8.	Tampilan data dari dataset Siklotron	58
Tabel 4.9.	Deskripsi statistik pada Siklotron	59
Tabel 4.10.	Normalisasi data Siklotron dengan <i>StandardScaler</i>	64
Tabel 4.11.	Konfigurasi parameter program python ANN	67
Tabel 4.12.	Konfigurasi parameter program python metode <i>Random Forest</i>	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skematik Diagram MBE 350 keV/10 mA	24
Gambar 2.2.	Prinsip kerja <i>Positron Emission Tomography</i>	26
Gambar 2.3.	Siklotron Eclipse 11 MeV	28
Gambar 2.4.	Hierarki <i>Artificial Intelligence</i>	29
Gambar 2.5.	Ilustrasi jaringan syaraf biologi dan jaringan syaraf tiruan	31
Gambar 2.6.	Struktur umum ANN	32
Gambar 2.7.	Struktur Dasar <i>Backpropagation Neural Network</i>	33
Gambar 2.8.	Teknik Pelatihan <i>Backpropagation</i>	34
Gambar 2.9.	Ilustrasi <i>Random Forest</i>	39
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 3.2.	Arsitektur model ANN untuk data MBE	46
Gambar 3.3.	Arsitektur model ANN untuk data Siklotron	47
Gambar 4.1.	Deteksi <i>missing values</i> pada dataset MBE	52
Gambar 4.2.	Hubungan parameter input arus STT dengan arus berkas elektron	53
Gambar 4.3.	Hubungan parameter input arus column dan arus berkas elektron	54
Gambar 4.4.	Hubungan parameter input arus filamen dengan arus berkas elektron	54
Gambar 4.5.	Analisis korelasi <i>Pearson Correlation Matrix</i> data MBE	56
Gambar 4.6.	<i>Feature importances random forest</i> data MBE	57
Gambar 4.7.	Deteksi <i>missing values</i> pada dataset Siklotron	58
Gambar 4.8.	Hubungan parameter input sumber ion dengan arus berkas ion	59
Gambar 4.9.	Hubungan parameter input tegangan sumber ion dengan arus berkas ion	60
Gambar 4.10.	Hubungan parameter input magnet dengan arus berkas ion	60
Gambar 4.11.	Hubungan parameter input arus bias dengan arus berkas ion	61
Gambar 4.12.	Hubungan parameter input tegangan bias dengan arus berkas ion	62
Gambar 4.13.	Hubungan parameter input vakum tinggi dengan arus berkas ion	63





Gambar 4.14.	Hubungan parameter input aliran gas dengan arus berkas ion	64
Gambar 4.15.	Analisis korelasi <i>Pearson Correlation Matrix</i> data Siklotron	65
Gambar 4.16.	<i>Feature Importance</i> data Siklotron	66
Gambar 4.17.	Skema proses training ANN	68
Gambar 4.18.	Grafik hubungan <i>training loss</i> dan <i>validation loss</i> data MBE	69
Gambar 4.19.	<i>Scatter plot</i> perbandingan nilai aktual dan nilai prediksi data MBE	70
Gambar 4.20.	Grafik hubungan <i>training loss</i> dan <i>validation loss</i> data Siklotron	71
Gambar 4.21.	<i>Scatter plot</i> perbandingan nilai aktual dan nilai prediksi data Siklotron	72
Gambar 4.22.	Visualisasi <i>random forest</i> untuk <i>training</i> data MBE	74
Gambar 4.23.	Visualisasi <i>random forest</i> untuk <i>training</i> data Siklotron	75
Gambar 4.24.	Perbandingan performa model <i>Linear Regression</i> , ANN dan RF pada data MBE	76
Gambar 4.25.	Perbandingan performa model <i>Linear Regression</i> , ANN dan RF pada data Siklotron	77

