

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN TUGAS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvii
INTISARI	xx
ABSTRACT	xxi
I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Batasan Masalah	4
I.4. Tujuan	4
I.5. Manfaat	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
III. DASAR TEORI	13

III.1.	<i>Boiler</i>	13
III.1.1.	Tipe dan Komponen Boiler	13
III.1.2.	<i>Boiler</i> di PT. Pertamina RU V Balikpapan	15
III.2.	Kandungan Oksigen di dalam <i>Flue Gas</i>	21
III.3.	Sensor Zirkonia untuk Mengukur Kandungan Oksigen	25
III.3.1.	Prinsip Kerja Zirkonia	25
III.3.2.	Permasalahan Sensor Zirkonia	28
III.4.	Jaringan Saraf Tiruan	29
III.4.1.	Model Klasifikasi dan Regresi Jaringan Saraf Tiruan	31
III.4.2.	Arsitektur Dasar Jaringan Saraf Tiruan	31
III.4.3.	Fungsi Aktivasi	33
III.4.4.	<i>Multilayer Perceptron</i>	35
III.4.5.	Fungsi <i>Loss</i>	36
III.4.6.	Algoritme Penjalaran Balik (<i>Backpropagation</i>)	37
III.4.7.	<i>Learning Rate</i>	39
III.4.8.	<i>Optimizer</i>	40
III.4.9.	<i>Underfitting</i> dan <i>Overfitting</i>	44
III.4.10.	Metode <i>Early Stopping</i>	45
III.5.	Koefisien Korelasi Pearson	45
III.6.	Pustaka Tensorflow	46
III.7.	Pustaka Keras	46
IV.	PELAKSANAAN PENELITIAN	47
IV.1.	Alat Penelitian	47
IV.2.	Bahan Penelitian	47
IV.3.	Tata Laksana Penelitian	48
IV.3.1.	Studi Literatur	48

IV.3.2.	Tuntutan Perancangan	50
IV.3.3.	Pengolahan Awal Data	50
IV.3.4.	Perancangan Model Regresi	53
IV.3.5.	Pelatihan Model Regresi	55
IV.3.6.	Pengujian Model Regresi	56
IV.3.7.	Analisis Hasil dan Pembahasan	58
IV.3.8.	Penulisan Laporan	59
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	60
V.1.	Penanganan <i>Missing Value</i>	60
V.2.	Hasil Pelatihan Model Regresi	61
V.3.	Hasil Pengujian Model Regresi	63
V.4.	Analisis Hasil dan Pembahasan	66
V.4.1.	Model Regresi JST dengan Sebuah <i>Hidden Layer</i>	66
V.4.2.	Pengaruh Normalisasi Data terhadap Performa Model Regresi JST	69
V.4.3.	Pengaruh Pengurangan dan Penambahan <i>Epoch</i> terhadap Per- forma Model Regresi JST	70
V.4.4.	Pengaruh Seleksi Fitur Berdasarkan Keofisien Korelasi Pearson	71
V.4.5.	Pengaruh Seleksi Fitur Berdasarkan Hubungan Antara Fitur dengan Kandungan Oksigen Secara Fisis	73
V.4.6.	Pengaruh Metode <i>Early Stopping</i> Terhadap Performa Model Regresi JST	76
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	80
VI.1.	Kesimpulan	80
VI.2.	Saran	80

DAFTAR PUSTAKA **82**

LAMPIRAN

A. Tautan **86**

A.1. Data Penelitian 86

A.2. Kode Sumber 86

B. Hasil Pengujian Model Regresi JST **87**

B.1. Hasil Pengujian Model Regresi JST menggunakan Seleksi Fitur
Berdasarkan Koefisien Korelasi 87

DAFTAR TABEL

2.1. Korelasi R yang dicapai masing-masing <i>regressor</i> terhadap jenis pekerjaan [9].	7
2.2. Performa BPNN terhadap 9 algoritma <i>training</i> untuk kasus 1 dan 2 [11].	8
2.3. Arsitektur JST untuk memprediksi temperatur dinding <i>supercritical boilers</i> [12].	9
2.4. Parameter input BPNN [6].	10
2.5. Error relatif absolut GABP [6]	10
2.6. Hasil akurasi model BPNN [7].	11
2.7. Rangkuman studi pustaka dan posisi penelitian.	12
3.1. Komposisi udara kering [4].	21
4.1. Alat yang digunakan dalam penelitian.	48
4.2. Data parameter proses di boiler 6 PT. Pertamina RU V Balikpapan. . .	49
4.3. <i>Hyperparameter</i> untuk <i>optimizer</i> SGD dengan momentum dan NAG. .	55
4.4. <i>Hyperparameter</i> untuk <i>optimizer</i> Adam.	56
5.1. Jumlah <i>missing value</i> pada setiap kolom data (fitur).	61
5.2. Waktu pelatihan masing-masing model regresi terhadap jumlah neuron di dalam <i>hidden layer</i>	63
5.3. Hasil pengujian model regresi berupa skor MAE dengan tiga kali percobaan	64
5.4. Hasil pengujian model regresi JST satu <i>hidden layer</i> , <i>optimizer</i> SGD, dengan variasi neuron dan tiga kali percobaan.	67
5.5. Hasil pengujian model regresi JST pada variasi jumlah <i>epoch</i>	70
5.6. Koefisien korelasi masing-masing fitur terhadap kandungan oksigen .	72

- 5.7. Hasil pengujian model regresi berupa rerata skor MAE dari tiga kali percobaan dengan fitur yang telah terseleksi berdasarkan koefisien korelasi yang dilakukan variasi (seleksi fitur dengan koefisien korelasi yang lebih besar dari 0,3 hingga 0,6 memiliki jumlah fitur yang sama.) 73
- 5.8. Hasil pengujian model regresi berdasarkan seleksi fitur yang dianggap mempunyai hubungan dengan kandungan oksigen di dalam *flue gas* secara fisis, dilakukan dengan tiga kali percobaan. 76
- 5.9. Hasil pengujian model regresi JST tanpa dan dengan menggunakan metode *early stopping* 79
- B.1. Hasil pengujian model regresi berupa rerata skor MAE dari tiga kali percobaan dengan fitur yang telah terseleksi berdasarkan koefisien korelasi yang dilakukan variasi (seleksi fitur dengan koefisien korelasi yang lebih besar dari 0,3 hingga 0,6 memiliki jumlah fitur yang sama.) 87

DAFTAR GAMBAR

1.1. Boiler dan cerobong <i>flue gas (stack)</i> pada <i>power plant</i> di industri [3].	2
3.1. Dua tipe boiler secara umum, <i>fire tubes boiler</i> dan <i>water tubes boiler</i> [15].	14
3.2. Komponen <i>boiler</i> [16].	19
3.3. Tampilan HMI (<i>human machine interface</i>) boiler 6 PT. Pertamina RU V Balikpapan [17].	20
3.4. Skema pembakaran ideal/stoikiometrik [4].	22
3.5. Skema pembakaran dengan <i>excess air</i> [4].	23
3.6. Diagram pembakaran [4].	24
3.7. Penggunaan <i>Oxygen analyzer</i> di industri pembangkit listrik.	25
3.8. Skema sistem amperometrik [18].	26
3.9. Skema sistem potensiometrik [18].	27
3.10. Sensor zirkonia yang telah terkikis [19].	29
3.11. Jaringan saraf biologis dan jaringan saraf tiruan [21][20].	30
3.12. Model nonlinier dari sebuah neuron, dilabeli dengan k [23].	32
3.13. Grafik fungsi aktivasi ReLU dan <i>Leaky ReLU</i>	33
3.14. Arsitektur <i>multilayer perceptron</i> dengan satu <i>hidden layer</i>	36
3.15. Skema aliran sinyal yang menyoroti detail neuron j	38
3.16. Grafik fungsi nilai eror terhadap nilai bobot. <i>Learning rate</i> diperlukan agar model mencapai nilai eror terendah pada bobot tertentu.	40
3.17. Minimum lokal dan minimum global [22].	42
4.1. Diagram blok rancangan model.	47
4.2. Diagram alir tata laksana penelitian.	49
4.3. Diagram alir pengolahan awal data.	51

4.4.	Diagram alir pelatihan model regresi.	57
5.1.	Grafik hasil pelatihan berupa <i>trend</i> skor MAE terhadap jumlah <i>epoch</i> pada model regresi dengan satu <i>hidden layer</i> , 64 neuron menggunakan <i>optimizer</i> SGD.	63
5.2.	Grafik hubungan antara hasil prediksi dengan nilai sebenarnya pada model regresi dengan satu <i>hidden layer</i> , 64 neuron, menggunakan <i>optimizer</i> SGD.	65
5.3.	Grafik persebaran nilai eror pada model regresi dengan satu <i>hidden layer</i> , 64 neuron menggunakan <i>optimizer</i> SGD.	65
5.4.	Arsitektur model regresi JST dengan menggunakan satu buah <i>hidden layer</i> , n menunjukkan jumlah neuron yang belum diketahui dan akan dicari berdasarkan variasi jumlah neuron.	66
5.5.	Grafik persebaran nilai eror pada model regresi dengan satu <i>hidden layer</i> , 60 neuron menggunakan <i>optimizer</i> SGD.	68
5.6.	Arsitektur akhir model regresi JST dengan menggunakan satu buah <i>hidden layer</i> , dan 60 neuron pada <i>hidden layer</i>	69
5.7.	Grafik hasil pelatihan berupa <i>trend</i> skor MAE terhadap jumlah <i>epoch</i> pada model regresi dengan sebuah <i>hidden layer</i> , 60 neuron pada <i>hidden layer</i> pertama, dan menggunakan <i>optimizer</i> SGD.	77
5.8.	Grafik hasil pelatihan berupa <i>trend</i> skor MAE terhadap jumlah <i>epoch</i> pada model regresi dengan satu <i>hidden layer</i> , 60 neuron, menggunakan <i>optimizer</i> SGD, dan menerapkan metode <i>early stopping</i>	78