

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xiii</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xv</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah dan Asumsi	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	 <b>4</b>
2.1 Posisi Penelitian	7
 <b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	 <b>11</b>
3.1 <i>Tool Condition Monitoring</i> (TCM)	11
3.1.1 Kerusakan Pahat	13
3.2 Pengolahan Sinyal Digital	14
3.2.1 Deviasi Standar	14
3.2.2 <i>Skewness</i>	14
3.2.3 Amplitudo	14
3.2.4 Kurtosis	15
3.2.5 Analisis Spektrum	15
3.2.6 Analisis Order	15
3.3 Teori Statistik	16

3.3.1	Normalisasi Data	16
3.3.2	Regresi Logistik	16
3.4	Seleksi Variabel dan Fitur	17
3.4.1	Seleksi fitur dengan <i>Fisher's discriminant Ratio</i> (FDR)	19
3.4.2	Seleksi Fitur dengan <i>Sequential Forward Selection</i> (SFS)	20
3.4.3	Seleksi Fitur dengan <i>Support Vector Machine</i> (SVM)	21
3.5	Reduksi Dimensional	22
3.5.1	<i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	24
3.6	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	26
3.6.1	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN) <i>Perceptron</i>	27
3.6.2	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN) <i>Backpropagation</i>	28
3.6.3	<i>Learning Rate</i> (LR)	32
3.6.4	<i>Momentum Coeffisien</i> (MC)	32
3.6	Pengukuran Kinerja <i>Classifier</i>	33
3.7	<i>Design Of Experiment</i> (DOE)	34
3.7.1	<i>Factorial Design</i>	36
3.9	<i>Clustering</i>	36
3.9.1	<i>K-Means</i>	37
3.9.2	Validasi <i>Cluster</i>	38
3.9.3	<i>Silhoutte Index</i>	39
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	<b>40</b>
4.1	Desain Sistem TCM	41
4.2	Objek Penelitian	43
4.3	Alat Penelitian	45
4.4	Prosedur Penelitian	45
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>51</b>
5.1	Transformasi Fitur/Ekstraksi Fitur	52
5.2	Normalisasi Data	54
5.3	Prosedur Seleksi Fitur	55
5.3.1	Pemilihan fitur dengan FDR	55
5.3.2	Pemilihan Fitur dengan SFS	56
5.3.3	Pemilihan Fitur dengan <i>Linear SVM</i>	56
5.3.4	Hasil Uji Coba Seleksi Fitur	57
5.4	Optimasi Parameter Klasifikator	66
5.4.1	Mencari Parameter Optimal ( <i>Learning Rate &amp; Momentum</i> )	67

5.4.2	Percobaan Menggunakan Algoritma Sederhana ( <i>traingdm</i> )	70
5.4.3	Percobaan Menggunakan Algoritma Pelatihan Cepat ( <i>trainoss</i> )	76
5.5	Reduksi dimensi dengan <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	80
5.5.2	<i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	80
5.5.3	Kesimpulan transformasi fitur	80
5.5.4	Hasil pengujian <i>perceptron VS backpropagation</i>	81
5.6	<i>Clustering</i>	85
5.7	Kesimpulan Hasil TCM	87
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>95</b>
6.1	Kesimpulan	95
6.2	Saran	96
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>97</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>100</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerusakan Pahat ( <i>flank wear</i> ) VB	13
Gambar 3.2 Amplitudo getaran	15
Gambar 3.3 Diagram alir pendekatan <i>wrapper</i> dan <i>filter</i>	19
Gambar 3.4 Algoritma SFS	20
Gambar 3.5 Permasalahan dalam pengurangan dimensi (Jensen & Shen, 2008)	23
Gambar 3.6 Desain ANN secara umum	27
Gambar 3.7 Pembatasan linier dengan <i>perceptron</i>	28
Gambar 3.8 Fungsi <i>Purelin</i>	30
Gambar 3.9 Fungsi <i>Bipolar</i>	30
Gambar 3.10 Fungsi <i>sigmoid biner</i>	31
Gambar 3.11 Fungsi <i>sigmoid bipolar</i>	32
Gambar 4.1 Alat dan bahan penelitian	42
Gambar 4.2 Perancangan Sistem (Arendra, 2014)	43
Gambar 4.3 Ilustrasi 282 data variabel per sampel	43
Gambar 4.4 Ilustrasi 1800 sampel pengukuran	45
Gambar 4.5 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 4.6 Pendekatan dalam pemilihan fitur	48
Gambar 5.1 Diagram arsitektur sistem Tool Condition Monitoring	51
Gambar 5.2 Bentuk gelombang diskrit sepanjang 1024 datapoints	52
Gambar 5.3 Normalisasi Frekuensi (Hz) ke Frekuensi (order) kondisi pahat Rusak	53
Gambar 5.4 Normalisasi Data	55
Gambar 5.5 Grafik perbandingan nilai MSE pemilihan fitur Korelasi vs L-SVM	61
Gambar 5.6 Grafik perbandingan pengujian akurasi fitur Korelasi vs L-SVM	61
Gambar 5.7 Performa MSE menggunakan MC=1	68
Gambar 5.8 Grafik MSE Terbaik (Percobaan 1)	68
Gambar 5.9 Grafik MSE Terbaik (Percobaan 2)	69
Gambar 5.10 Aliran Data Latih, Data Uji dan Data Validasi untuk Proses Pelatihan	71
Gambar 5.11 Plot Grafik Akurasi Data Uji dan Validasi	72
Gambar 5.12 Interaksi antar Faktor	76
Gambar 5.13 <i>Main effect LR &amp; Node</i> terhadap Akurasi Data	78
Gambar 5.14 Interaksi dan <i>Main Effect</i> MSE vs <i>Node</i>	78
Gambar 5.15 Plot <i>Eigen Value</i> terhadap Jumlah Komponen (PCA)	80
Gambar 5.16 Fitur <i>input</i> untuk JST	81



Gambar 5.18 Hasil Klaster <i>K-Means</i>	85
Gambar 5.19 <i>Silhouette Index</i> untuk Validasi Klaster <i>K-Means</i>	86
Gambar 5.20 Detail <i>output</i> kesimpulan TCM terhadap penggunaan pahat rusak	87
Gambar 5.21 Detail <i>output</i> kesimpulan TCM terhadap penggunaan pahat normal	88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan penelitian terkait dengan <i>tool condition monitoring</i>	9
Tabel 3.1 Algoritma pelatihan <i>backpropagation</i>	32
Tabel 3.2 <i>Confusion Matriks 2x2</i>	33
Tabel 5.1 Perbandingan Tiga Metode Fitur Terpilih	58
Tabel 5.2 Hasil Percobaan Pemilihan Fitur Korelasi	59
Tabel 5.3 Hasil dari Percobaan Pemilihan Fitur (FDR)	59
Tabel 5.4 Hasil dari Percobaan Pemilihan Fitur (SFS)	59
Tabel 5.5 Hasil dari Percobaan Pemilihan Fitur (L-SVM)	60
Tabel 5.5 Regresi Logistik	62
Tabel 5.6 perbandingan antara prediktor dengan aktual	64
Tabel 5.9 DOE Penelitian Pencarian Parameter Optimal (percobaan 1)	67
Tabel 5.10 DOE Penelitian Pencarian Parameter Optimal (percobaan 2)	69
Tabel 5.11 <i>Setup</i> Percobaan <i>DOE</i>	71
Tabel 5.12 Rata-rata hasil pengujian	73
Tabel 5.12 Rata-rata hasil pengujian (lanjutan)	74
Tabel 5.12 Rata-rata hasil pengujian (lanjutan)	75
Tabel 5.13 <i>Setup</i> Percobaan <i>DOE</i>	77
Tabel 5.14 Rata-rata Hasil Pengujian algoritma <i>trainoss</i>	77
Tabel 5.15 Rata-rata Hasil Pengujian algoritma <i>backpropagation</i>	79
Tabel 5.16 Rata-rata Hasil Pengujian algoritma <i>perceptron</i>	79
Tabel 5.17 Pengujian Perceptron	81
Tabel 5.18 Hasil pengujian perceptron penelitian sebelumnya	82
Tabel 5.19 Hasil pengujian <i>perceptron</i> penelitian saat ini	83
Tabel 5.20 Hasil pengujian <i>backpropagation</i> dengan input hasil reduksi PCA	83

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Normalisasi Fitur Frekuensi (Hz) terhadap Frekuensi (order)	101
A.1. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 750 rpm; 0,08 mm/tooth	102
A.2. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 750 rpm; 0,05 mm/tooth	102
A.3. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 750 rpm; 0,02 mm/tooth	103
A.4. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 650 rpm; 0,08 mm/tooth	103
A.5. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 650 rpm; 0,05 mm/tooth	104
A.6. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 650 rpm; 0,02 mm/tooth	104
A.7. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 550 rpm; 0,08 mm/tooth	105
A.8. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 550 rpm; 0,05 mm/tooth	105
A.9. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Rusak; 550 rpm; 0,02 mm/tooth	106
A.10. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 750 rpm; 0,08 mm/tooth	106
A.11. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 750 rpm; 0,05 mm/tooth	107
A.12. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 750 rpm; 0,02 mm/tooth	107
A.13. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 650 rpm; 0,08 mm/tooth	108
A.14. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 650 rpm; 0,05 mm/tooth	108
A.15. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 650 rpm; 0,02 mm/tooth	109
A.16. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 550 rpm; 0,08 mm/tooth	109
A.17. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 550 rpm; 0,05 mm/tooth	110
A.18. sinyal getaran <i>treatment</i> pahat Normal; 550 rpm; 0,02 mm/tooth	110
Lampiran B. Hasil Pemilihan Fitur	111
B.1. Pemilihan Fitur dengan Metode <i>Fisher's Discriminant Ratio</i>	112
B.2. Pemilihan Fitur dengan Metode <i>Sequential Forward Selection</i>	113
B.3. Pemilihan Fitur dengan Metode <i>Linier Support Vector Machine</i>	114
Lampiran C. Random Interaksi antar level dan faktor pada metode DOE	116
C.1 Tabel random interaksi faktor dan level pada percobaan 1	117
C.2 Tabel random interaksi faktor dan level pada percobaan 2	120
Lampiran D. Random Interaksi antar level dan faktor pada metode DOE ( <i>trainoss</i> )	123
D.1 Tabel random interaksi faktor dan level	124
Lampiran E. Hasil Perbandingan dengan Penelitian sebelumnya	127
E.1 Hasil Penelitian MLP <i>resilent backpropagation</i>	128
E.2 Hasil Penelitian MLP <i>resilent backpropagation</i> dengan <i>early stopping</i>	128
E.3 Hasil penelitian MLP <i>trainoss</i>	128
E.4 Grafik perbandingan antara algoritma pelatihan <i>resilent bp</i> , <i>resilent bp 2</i> dan <i>trainoss</i>	129