



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PEMANTAUAN KONDISI MESIN DENGAN EKSTRAKSI FITUR
SINYAL GETARAN**

TUGAS AKHIR

**ANGGA DWI SAPUTRA
L2E 006 009**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :
Nama : Angga Dwi Saputra
NIM : L2E 006009
Pembimbing : Dr. Achmad Widodo, S.T., MT
Jangka Waktu : 6 (enam) bulan
Judul : **Pemantauan Kondisi Mesin dengan Ekstraksi Fitur Sinyal
Getaran**

Isi Tugas :

1. Mengekstrak data sinyal getaran dengan berbagai fitur untuk menganalisa kondisi ketidaknormalan pada mesin .
2. Mengenali dan membandingkan pola hasil ekstraksi pada setiap fitur untuk kondisi mesin yang berbeda.
3. Membandingkan hasil diagnosa SOM pada berbagai fitur yang digunakan.

Dosen Pembimbing,

Dr. Achmad Widodo, ST., MT

NIP. 197307021999031001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : ANGGA DWI SAPUTRA

NIM : L2E 006 009

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Angga Dwi Saputra
NIM : L2E 006 009
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pemantauan Kondisi Mesin dengan Ekstraksi Fitur Sinyal
Getaran

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Achmad Widodo, ST, MT ()
Penguji : Dr. Jamari, ST, MT ()
Penguji : Muchammad, ST, MT ()

Semarang, Maret 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK
NIP. 1959072219870310003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ANGGA DWI SAPUTRA
NIM : L2E 006 009
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“PEMANTAUAN KONDISI MESIN DENGAN EKSTRAKSI FITUR SINYAL GETARAN”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Maret 2011

Yang menyatakan

(ANGGA DWI SAPUTRA)
NIM: L2E006009

ABSTRAK

Pemantauan kondisi mesin semakin penting dalam industri, karena kebutuhan untuk meningkatkan kehandalan dan mengurangi kemungkinan kehilangan produksi akibat mesin mengalami kerusakan. Pemantauan getaran pada mesin merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk memantau kondisi mesin dan dianggap metode yang paling efektif untuk mendeteksi kerusakan pada mesin rotasi. Oleh karena itu, dibutuhkan fitur sinyal getaran yang akurat untuk mendiagnosa kerusakan mesin. Pada penelitian ini, data hasil pengukuran getaran diekstrak dengan menggunakan beberapa parameter statistik domain waktu. Data sinyal getaran dari berbagai kondisi mesin rotasi didapat dengan perangkat simulator kerusakan mesin. Kondisi yang disimulasikan adalah normal, *unbalance*, *loosenes*, *misalignment*, dan bantalan rusak. Hasil ekstraksi fitur sinyal getaran digunakan sebagai input *self organizing map* (SOM). SOM digunakan sebagai alat diagnosa kerusakan mesin. Dari hasil analisa kinerja SOM terlihat bahwa fitur RMS memiliki kinerja terbaik dan fitur *mean* memiliki kinerja yang paling rendah.

Kata kunci: pemantauan kondisi mesin, pemantauan getaran, sinyal getaran, diagnosa kerusakan mesin, *self organizing map*

ABSTRACT

Machinery condition monitoring is increasingly important in industry due to the need to improve reliability and reduce the possibility of production loss due to machinery breakdown. Vibration monitoring is the most widely used method for machinery condition monitoring and is considered the most effective method to detect defect in rotating machinery. Therefore, accurate features of vibration signals are required in fault diagnosis of machinery. In this study, vibration measurement data were extracted using several statistical parameters of time domain. Vibration signal data from a variety condition of rotating machinery were obtained from machinery faults simulator. In the simulation the machinery conditions were normal, unbalance, loosenes, misalignment, and bearing defect. The result of feature extraction of vibration signal is used as input to the self organizing map (SOM). In this study, SOM is used as tool for fault diagnosis machinery. The results shows that the RMS feature has best performance and mean has poorest performance.

Keywords: machinery condition monitoring, vibration monitoring, fault diagnosis of machinery, self organizing map

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada Penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Sarjana dengan baik.

Laporan disusun sebagai salah satu tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Berbagai pihak telah membantu dalam menyusun laporan ini dengan memberikan motifasi, arahan dan bimbingan. Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Achmad Widodo ST., MT., selaku pembimbing utama yang telah begitu banyak memberikan bantuan, bimbingan, pengarahan serta pengetahuan dalam pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Wahyu Caesarendra ST., M.Eng., yang telah memberikan informasi dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Rekan Tugas Akhir Muhammad Huda dan teman-teman angkatan 2006 yang telah memberikan dorongan dan semangat sampai tugas akhir ini selesai.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan Tugas Sarjana ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu Penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan dan kemajuan kami di masa yang akan datang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xx
NOMENKLATUR.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Metode Perawatan	5
2.1.1 <i>Breakdown Maintenance</i> atau <i>Run to Failure Maintenance</i>	5
2.1.2 Perawatan Preventif atau <i>Time-Based Maintenance</i>	6
2.1.3 Perawatan Prediktif atau <i>Condition-Based Maintenance</i>	8
2.2 Pemantauan Kondisi Mesin.....	9
2.3 Teori Dasar Getaran	11
2.3.1 Gerak Harmonik.....	12
2.3.2 Getaran Bebas	13

2.3.3	Getaran yang Teraksitasi Harmonik	15
2.3.4	Harmonik	16
2.4	Pemilihan Parameter dan Transduser Getaran	17
2.4.1	Pemilihan Parameter Pengukuran	18
2.4.2	Transduser Getaran	19
2.5	<i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	23
2.6	Diagnosa Kerusakan Mesin dengan Analisa Getaran	25
2.6.1	<i>Unbalance</i>	26
2.6.2	<i>Mechanical Loosenes</i>	28
2.6.3	<i>Misalignment</i>	30
2.6.4	Bantalan Gelinding Rusak	33
2.7	Ekstraksi Fitur Sinyal Getaran	37
2.7.1	Ekstraksi Fitur Domain Waktu	39
2.7.2	Ekstraksi Fitur Domain Frekuensi	44
2.8	<i>Self Organizing Map</i> (SOM)	44
2.8.1	Pelatihan SOM	45
2.8.2	Pengklastran SOM	46
BAB III METODE PENELITIAN		49
3.1	Metode Penelitian	49
3.2	Alat dan Prosedur Percobaan	50
3.2.1	<i>Machinery Fault Simulator</i> (MFS)	50
3.2.2	<i>Accelerometer</i>	51
3.2.3	Prosedur Percobaan	52
3.3	Ekstraksi Fitur Sinyal Getaran	53
3.4	Diagnosa Kerusakan Mesin dengan SOM	54
3.5	Data Hasil Pengukuran	55
3.5.1	Kondisi Normal	56
3.5.2	Kondisi <i>Unbalance</i>	58
3.5.3	Kondisi <i>Loosenes</i>	60
3.5.4	Kondisi <i>Misalignment</i>	62

3.5.5	Kondisi Bantalan Rusak.....	64
BAB IV	HASIL DAN ANALISA.....	66
4.1	Analisa Hasil Ekstraksi Fitur.....	66
4.1.1	<i>Roots Mean Square (RMS)</i>	66
4.1.2	Rata-rata.....	68
4.1.3	<i>Skewness</i>	68
4.1.4	Kurtosis.....	71
4.1.5	<i>Crest Factor (CF)</i>	73
4.1.6	<i>Shape Factor (SF)</i>	74
4.1.7	<i>Lower Bound (LB)</i>	76
4.1.8	<i>Upper Bound (UB)</i>	76
4.2	Diagnosa Kerusakan Mesin dengan <i>Self Organizing Map (SOM)</i>	79
4.2.1	Analisa Hasil Pemetaan Data Latihan dengan SOM.....	80
4.2.2	Analisa Hasil Pengklasteran SOM.....	85
4.2.3	Analisa Akurasi Diagnosa Kerusakan dengan SOM.....	95
BAB V	PENUTUP.....	98
5.1	Kesimpulan.....	98
5.2	Saran.....	98
DAFTAR	PUSTAKA.....	99
LAMPIRAN	BAHASA PEMOGRAMAN.....	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik hubungan total waktu operasi mesin dengan estimasi Kapasitas dan beban aktual (<i>run to failure maintenance</i>).....	1
Gambar 2.2	Grafik hubungan total waktu operasi mesin dengan estimasi Kapasitas dan beban aktual (<i>time-based maintenance</i>).....	7
Gambar 2.3	Grafik hubungan total waktu operasi mesin dengan estimasi Kapasitas dan beban aktual (<i>Condition-based maintenance</i>).....	9
Gambar 2.4	Sistem massa-pegas.....	11
Gambar 2.5	Bentuk gelombang harmonik sederhana	13
Gambar 2.6	Hubungan antara perpindahan, kecepatan, dan percepatan getaran	13
Gambar 2.7	Sistem getaran bebas tanpa <i>damp</i> dengan satu derajat kebebasan	14
Gambar 2.8	Sistem getaran paksa dengan satu derajat kebebasan.....	15
Gambar 2.9	Gelombang dengan seri harmonik ganjil.....	16
Gambar 2.10	Transformasi fourier dari Gambar 2.9.....	17
Gambar 2.11	Hubungan frekuensi dengan respon amplitudo untuk berbagai tipe sensor.....	18
Gambar 2.12	Tipe dasar transduser kecepatan.....	19
Gambar 2.13	Bagian-bagian <i>accelerometer piezoelectric</i>	22
Gambar 2.14	Prinsip kerja transduser arus eddy	23
Gambar 2.15	Pemasangan transduser arus eddy	23
Gambar 2.16	<i>Discrete fourier transform</i> (DFT)	24

Gambar 2.17 Kondisi <i>unbalance static</i>	27
Gambar 2.18 Spektrum FFT pada kerusakan <i>unbalance</i>	27
Gambar 2.19 Kondisi <i>couple unbalance</i> pada rotor	27
Gambar 2.20 Kondisi <i>dynamic unbalance</i> pada rotor	27
Gambar 2.21 Spektrum FFT pada <i>Internal assembly loosenes</i>	29
Gambar 2.22 <i>Internal assembly loosenes</i> antara poros dan bantalan	29
Gambar 2.23 Spektrum FFT kondisi <i>loosenes</i> antara mesin dan pondasi	29
Gambar 2.24 Kondisi <i>loosenes</i> antara mesin dan <i>baseplate</i>	30
Gambar 2.25 Kondisi <i>structure loosenes</i>	30
Gambar 2.26 Spektrum FFT pada kondisi <i>structure loosenes</i>	30
Gambar 2.27 Kondisi <i>angular misalignment</i>	31
Gambar 2.28 Spektrum FFT pada kondisi <i>angular misalignment</i>	31
Gambar 2.29 Analisa fase untuk mengkonfirmasi <i>angular misalignment</i>	32
Gambar 2.30 Kondisi <i>parallel misalignment</i>	32
Gambar 2.31 Spektrum FFT pada kondisi <i>parallel misalignment</i>	33
Gambar 2.32 Analisa fase pada kondisi <i>parallel misalignment</i>	33
Gambar 2.33 Komponen penyusun bantalan gelinding	35
Gambar 2.34 Kondisi bantalan pada kerusakan tahap 1	36
Gambar 2.35 Kondisi bantalan pada kerusakan tahap 2	36
Gambar 2.36 Kondisi bantalan pada kerusakan tahap 3	37

Gambar 2.37 Kondisi bantalan pada kerusakan tahap 4	37
Gambar 2.38 Prosedur diagnosa cerdas	38
Gambar 2.39 Kategori teknik ekstraksi fitur sinyal getaran.....	39
Gambar 2.40 Kategori teknik ekstraksi fitur sinyal getaran.....	39
Gambar 2.39 Kategori teknik ekstraksi fitur sinyal getaran.....	39
Gambar 2.39 Kategori teknik ekstraksi fitur sinyal getaran.....	39
Gambar 2.40 Memperbaharui <i>best matching unit</i> (BMU)	46
Gambar 2.41 <i>Clustering tree (Dendrogram)</i>	47
Gambar 2.42 Tahap-tahap pengklasteran SOM	48
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian	49
Gambar 3.2 <i>Machinery Fault Simulator</i> (MFS).....	51
Gambar 3.3 <i>Tri-Axis Accelerometer</i> (SQI 604B31).....	51
Gambar 3.4 Prosedur percobaan	52
Gambar 3.5 (a) Posisi <i>accelerometer</i> (b) <i>DAQ Board</i>	53
Gambar 3.6 Diagram alir diagnosa kondisi mesin dengan SOM.....	54
Gambar 3.7 Grafik hasil pengukuran kondisi normal pada posisi sensor 1H....	56
Gambar 3.8 Grafik hasil pengukuran kondisi normal pada posisi sensor 1V ...	56
Gambar 3.9 Grafik hasil pengukuran kondisi normal pada posisi sensor 2H ...	57
Gambar 3.10 Grafik hasil pengukuran kondisi normal pada posisi sensor 2V ...	57

Gambar 3.11 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>unbalance</i> pada posisi sensor 1H	58
Gambar 3.12 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>unbalance</i> pada posisi sensor 1V	58
Gambar 3.13 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>unbalance</i> pada posisi sensor 2H	59
Gambar 3.14 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>unbalance</i> pada posisi sensor 2V	59
Gambar 3.15 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>loosenes</i> pada posisi sensor 1H.	60
Gambar 3.16 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>loosenes</i> pada posisi sensor 1V.	60
Gambar 3.17 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>loosenes</i> pada posisi sensor 2H.	61
Gambar 3.18 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>loosenes</i> pada posisi sensor 2V.	61
Gambar 3.19 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>misalignment</i> pada posisi sensor 1H.....	62
Gambar 3.20 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>misalignment</i> pada posisi sensor 1V	62
Gambar 3.21 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>misalignment</i> pada posisi sensor 2H.....	63
Gambar 3.22 Grafik hasil pengukuran kondisi <i>misalignment</i> pada posisi sensor 2V	63
Gambar 3.23 Grafik hasil pengukuran kondisi bantalan rusak pada posisi sensor 1H.....	64

Gambar 3.24 Grafik hasil pengukuran kondisi bantalan rusak pada posisi sensor 1V	64
Gambar 3.25 Grafik hasil pengukuran kondisi bantalan rusak pada posisi sensor 2H.....	65
Gambar 3.26 Grafik hasil pengukuran kondisi bantalan rusak pada posisi sensor 2V	65
Gambar 4.1 Hasil ekstraksi fitur RMS sensor 1H.....	66
Gambar 4.2 Hasil ekstraksi fitur RMS sensor 1V	66
Gambar 4.3 Hasil ekstraksi fitur RMS sensor 2H.....	67
Gambar 4.4 Hasil ekstraksi fitur RMS sensor 2V	67
Gambar 4.5 Hasil ekstraksi fitur rata-rata sensor 1H	68
Gambar 4.6 Hasil ekstraksi fitur rata-rata sensor 1V	68
Gambar 4.7 Hasil ekstraksi fitur rata-rata sensor 2H	68
Gambar 4.8 Hasil ekstraksi fitur rata-rata sensor 2V	69
Gambar 4.9 Hasil ekstraksi fitur <i>skewness</i> sensor 1H.....	69
Gambar 4.10 Hasil ekstraksi fitur <i>skewness</i> sensor 1V.....	69
Gambar 4.11 Hasil ekstraksi fitur <i>skewness</i> sensor 2H.....	70
Gambar 4.12 Hasil ekstraksi fitur <i>skewness</i> sensor 2V.....	70
Gambar 4.13 Hasil ekstraksi fitur kurtosis sensor 1H.....	71
Gambar 4.14 Hasil ekstraksi fitur kurtosis sensor 1V.....	71
Gambar 4.15 Hasil ekstraksi fitur kurtosis sensor 2H.....	71

Gambar 4.16 Hasil ekstraksi fitur kurtosis sensor 2V	72
Gambar 4.17 Hasil ekstraksi fitur <i>crest factor</i> sensor 1H.....	73
Gambar 4.18 Hasil ekstraksi fitur <i>crest factor</i> sensor 1V	73
Gambar 4.19 Hasil ekstraksi fitur <i>crest factor</i> sensor 2H.....	73
Gambar 4.20 Hasil ekstraksi fitur <i>crest factor</i> sensor 2V	74
Gambar 4.21 Hasil ekstraksi fitur <i>shape factor</i> sensor 1H.....	74
Gambar 4.22 Hasil ekstraksi fitur <i>shape factor</i> sensor 1V.....	74
Gambar 4.23 Hasil ekstraksi fitur <i>shape factor</i> sensor 2H.....	75
Gambar 4.24 Hasil ekstraksi fitur <i>shape factor</i> sensor 2V.....	75
Gambar 4.25 Hasil ekstraksi fitur <i>lower bound</i> sensor 1H	76
Gambar 4.26 Hasil ekstraksi fitur <i>lower bound</i> sensor 1V	76
Gambar 4.27 Hasil ekstraksi fitur <i>lower bound</i> sensor 2H	76
Gambar 4.28 Hasil ekstraksi fitur <i>lower bound</i> sensor 2V	77
Gambar 4.29 Hasil ekstraksi fitur <i>upper bound</i> sensor 1H.....	78
Gambar 4.30 Hasil ekstraksi fitur <i>upper bound</i> sensor 1V	78
Gambar 4.31 Hasil ekstraksi fitur <i>upper bound</i> sensor 2H.....	78
Gambar 4.32 Hasil ekstraksi fitur <i>upper bound</i> sensor 2V	79
Gambar 4.33 Hasil pemetaan SOM fitur RMS	80
Gambar 4.34 Hasil pemetaan SOM fitur <i>mean</i>	81
Gambar 4.35 Hasil pemetaan SOM fitur <i>skewness</i>	81

Gambar 4.36 Hasil pemetaan SOM fitur kurtosis	82
Gambar 4.37 Hasil pemetaan SOM fitur <i>crest factor</i>	82
Gambar 4.38 Hasil pemetaan SOM fitur <i>shape factor</i>	83
Gambar 4.39 Hasil pemetaan SOM fitur <i>lower bound</i>	83
Gambar 4.40 Hasil pemetaan SOM fitur <i>upper bound</i>	84
Gambar 4.41 Hasil pemetaan SOM fitur domain waktu.....	84
Gambar 4.42 Hasil pengklasteran SOM fitur RMS sensor 2V	85
Gambar 4.43 Hasil pengklasteran SOM fitur RMS sensor 2H	86
Gambar 4.44 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>mean</i> sensor 2V	86
Gambar 4.45 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>mean</i> sensor 2H.....	87
Gambar 4.46 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>skewness</i> sensor 2V	87
Gambar 4.47 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>skewness</i> sensor 2H.....	88
Gambar 4.48 Hasil pengklasteran SOM fitur kurtosis sensor 2V	88
Gambar 4.49 Hasil pengklasteran SOM fitur kurtosis sensor 2H.....	89
Gambar 4.50 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>crest factor</i> sensor 2V	89
Gambar 4.51 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>crest factor</i> sensor 2H	90
Gambar 4.52 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>shape factor</i> sensor 2V.....	90
Gambar 4.53 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>shape factor</i> sensor 2H.....	91
Gambar 4.54 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>lower bound</i> sensor 2V.....	91
Gambar 4.55 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>lower bound</i> sensor 2H.....	92

Gambar 4.56 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>upper bound</i> sensor 2V	92
Gambar 4.57 Hasil pengklasteran SOM fitur <i>upper bound</i> sensor 2H	93
Gambar 4.58 Hasil pengklasteran SOM fitur domain waktu sensor 2V	93
Gambar 4.59 Hasil pengklasteran SOM fitur domain waktu sensor 2H.....	94
Gambar 4.60 Contoh pengujian akurasi diagnosa kerusakan mesin dengan SOM fitur RMS sensor 2V	95

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Akurasi SOM Menggunakan Data Latihan Sensor 2V	95
Tabel 4.2 Akurasi SOM Menggunakan Data Tes Sensor 2V.....	96
Tabel 4.3 Akurasi SOM Menggunakan Data Latihan Sensor 2H	96
Tabel 4.4 Akurasi SOM Menggunakan Data Tes Sensor 2H.....	96

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
F	Gaya eksitasi	[N]
m	Massa	[kg]
x	Perpindahan	[m]
f	Frekuensi	[Hz]
ω	Frekuensi sudut	[rad/s]
T	Periode	[s]
v	Kecepatan	[m/s]
a	Percepatan	[m/s ²]
k	Kekakuan pegas	[N/m]
c	Redaman	[N/(m/s)]
ω_n	Frekuensi alamiah	[rad/s]
N_b	Jumlah bola	[-]
B_d	Diameter bola	[m]
P_d	Diameter <i>pitch</i> bantalan	[m]
θ	Sudut kontak	[-]
B_{PFI}	<i>Ball pass frequency-inner</i>	[Hz]
B_{PFO}	<i>Ball pass frequency-outer</i>	[Hz]
FTF	<i>Fundamental train frequency</i>	[Hz]
BSF	<i>Ball spin frequency</i>	[Hz]
X_i	Amplitudo getaran (percepatan)	[g]
N	Jumlah data	[-]
μ	Nilai rata-rata	[-]
RMS	<i>Root mean square</i>	[-]
K	Kurtosis	[-]
sk	<i>Skewness</i>	[-]
CF	<i>Crest factor</i>	[-]

<i>SF</i>	<i>Shape factor</i>	[-]
<i>LB</i>	<i>Lower bound</i>	[-]
<i>UB</i>	<i>Upper bound</i>	[-]
<i>FC</i>	<i>Frequency center</i>	[-]
<i>MSF</i>	<i>Mean square frequency</i>	[-]
<i>RMSF</i>	<i>Roots mean square frequency</i>	[-]
<i>VF</i>	<i>Variance frequency</i>	[-]
<i>RVF</i>	<i>Roots variance frequency</i>	[-]
m_i	Vektor bobot input	[-]
m_b	<i>Best matching unit</i>	[-]
h_{bi}	Fungsi tetangga	[-]
$\alpha(t)$	<i>Learning rate</i>	[-]
r_b	Posisi neuron	[-]