

SKRIPSI

METODE DETEKSI KAVITASI BERBASIS *SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)* PADA POMPA SENTRIFUGAL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Disusun oleh:

MUHAMMAD TAUFIQ AKBAR

20140130069

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2018**

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya,

Nama : Muhammad Taufiq Akbar

Nomor Induk Mahasiswa : 20140130069

Menyatakan bahwa tugas akhir ini dengan judul “**METODE DETEKSI KAVITASI BERBASIS SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) PADA POMPA SENTRIFUGAL**” tidak terdapat karya yang pernah di ajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 17 Agustus 2018



Muhammad Taufiq Akbar

MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu, Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui”

(Q.S. Al – Baqarah : 216)

If you can't fly, then run

If you can't run, then walk

If you can't walk, then crawl

but whatever you do, you have to keep moving forward

(Martin Luther King Jr.)

“If somebody offers you an amazing opportunity but you're not sure you can do it, SAY YES, then learn how to do it later”

“What is life without a little risk ?”

“Sungguh - sungguh dalam melakukan segala hal, percayalah hasil tidak akan menghianati usaha yang telah ditempuh”

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

Almarhumah Ibunda Tercinta :

Cut Melur Farinoka

Ayahanda Tercinta :

Tanda Bani Rasu

Untuk seluruh kasih sayang, cinta, semangat, motivasi dan dukungannya yang tiada ternilai sepanjang hayat untuk anakmu ini.

Abang dan Adik :

Muhammad Naufal Fadhil dan Soraya Ulfa

Untuk seluruh dukungannya yang selalu mengingatkan dan memotivasi agar menyelesaikan tugas akhir ini.

Sahabat, dan Guruku

Terima kasih untuk segala pengalaman, motivasi, saran, dan ilmu yang bermanfaat.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan bimbingannya selama ini sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul **"Metode Deteksi Kavitas Berbasis *Support Vector Machine (SVM)* pada Pompa Sentrifugal"** dapat saya selesaikan dengan baik tanpa halangan apapun.

Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk mendeteksi fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal dengan menggunakan metode berbasis *SVM* serta mengembangkan algoritma *SVM* untuk dapat mendeteksi kavitasi pada beberapa level. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode *SVM* terbukti mampu mendeteksi kavitasi dini dengan tingkat akurasi sebesar 99%. Pengembangan algoritma yang dilakukan dengan menggunakan *Bayesian Optimization* juga terbukti dapat mengklasifikasikan kavitasi pada beberapa level dengan tingkat akurasi 100%.

Penyusunan ini dilaksanakan guna memenuhi persyaratan untuk mencapai derajat *Strata satu (S1)* pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan, oleh karena itu bila ada saran, koreksi, dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini akan penyusun terima dengan ikhlas dan dengan ucapan terima kasih. Akhirnya dengan segala keterbatasan yang ada penyusun berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum. Wr.Wb.

Yogyakarta, 17 Agustus 2018

Penyusun,

Muhammad Taufiq Akbar

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Pompa Sentrifugal	9
2.2.1 Klasifikasi Pompa Sentrifugal	10
2.2.2 Komponen Pompa Sentrifugal.....	11
2.3 Kavitasi	13
2.3.1 Jenis – Jenis Kavitasi	13
2.3.2 Penyebab Kavitasi.....	14
2.4 <i>Net Positive Suction Head (NPSH)</i>	15

2.4.1	<i>NPSH available (NPSHa)</i>	15
2.4.2	<i>NPSH required (NPSHr)</i>	16
2.5	<i>Maintenance</i>	16
2.6	<i>Condition Based Maintenance (CBM)</i>	17
2.7	<i>Vibrasi</i>	18
2.8	<i>Analisis Sinyal Vibrasi</i>	19
2.8.1	<i>Analisa Domain Waktu (Time Domain)</i>	20
2.8.2	<i>Analisa Spektrum (Frequency Domain)</i>	20
2.9	<i>Pencocokan Pola (Pattern Recognition)</i>	21
2.10	<i>Support Vector Machine (SVM)</i>	21
2.11	<i>Kernel Function</i>	23
2.12	<i>Parameter Statistik Domain Waktu</i>	26
2.13	<i>Grid Search Method (GSM)</i>	29
2.14	<i>Bayesian Optimization (BO)</i>	31
2.14.1	<i>Implementasi Algoritma BO terhadap SVM</i>	31
2.15	<i>Akuisisi Data Sinyal Vibrasi</i>	32
2.15.1	<i>Sensor Vibrasi</i>	32
2.16	<i>Sensor Accelerometer</i>	34
2.16.1	<i>Jenis – Jenis Accelerometer</i>	34
2.16.2	<i>Sensitifitas Accelerometer</i>	36
2.16.3	<i>Rentang Frekuensi Operasi (Frequency Range)</i>	36
2.15.4	<i>Metode Pemasangan Accelerometer</i>	38
2.16	<i>Sampling</i>	39
2.17	<i>Aliasing</i>	41
BAB III TEST-RIG KAVITASI DAN METODE PENELITIAN		42
3.1	<i>Test-Rig Kavitasi</i>	42
3.1.1	<i>Komponen Test-Rig Kavitasi</i>	43
3.2	<i>Metode Penelitian</i>	50
3.2.1	<i>Pengaturan Parameter Akuisisi dan Struktur Data</i>	52
3.2.2	<i>Persiapan Test –Rig Kavitasi</i>	52

3.2.3	Akuisisi Data Sinyal <i>Vibrasi</i>	53
3.2.4	Pengolahan Hasil Data Akuisisi	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Hasil Akuisisi Data Sinyal <i>Vibrasi</i>	57
4.2	Hasil Ekstraksi Parameter Statistik Domain Waktu	59
4.3	Hasil Seleksi Parameter Statistik Domain Waktu	68
4.4	Klasifikasi <i>Binary SVM</i>	70
4.4.1	Hasil Klasifikasi Data Normal dan Kavitasi Level 1.....	70
4.4.2	Hasil Klasifikasi Data Normal dan Kavitasi Level 2.....	72
4.4.3	Hasil Klasifikasi Data Normal dan Kavitasi Level 3.....	73
4.4.4	Performa Hasil Klasifikasi <i>Binary SVM</i>	74
4.5	Klasifikasi <i>Multi Class SVM</i>	75
4.6	Optimalisasi Hasil Klasifikasi <i>Multi Class SVM</i>	76
4.6.1	Algoritma Optimalisasi <i>Grid Search Method (GSM)</i>	77
4.7	Perbandingan Performa Hasil Klasifikasi <i>Multi Class SVM</i>	84
BAB V PENUTUP.....		85
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran	85
UCAPAN TERIMA KASIH		87
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN.....		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pompa sentrifugal.....	10
Gambar 2.2 Komponen pompa sentrifugal	11
Gambar 2.3 Kavitasi pada <i>impeller</i> pompa.....	13
Gambar 2.4 Gerak osilasi suatu sistem pegas massa.....	19
Gambar 2.5 Metode analisa sinyal <i>vibrasi</i> berbasis domain waktu	20
Gambar 2.6 Penentuan hyperplane terbaik yang memisahkan kedua kelas.....	22
Gambar 2.7 Optimalisasi pemetaan berdasarkan <i>grid</i>	30
Gambar 2.8 Korelasi antara <i>grid</i> pada setiap perulangan	30
Gambar 2.9 Sensor <i>displacement</i>	33
Gambar 2.10 Sensor <i>velocity</i>	33
Gambar 2.11 Sensor <i>accelerometer</i>	34
Gambar 2.12 <i>Accelerometer</i> tipe <i>compression</i>	35
Gambar 2.13 <i>Accelerometer</i> tipe <i>shear</i>	35
Gambar 2.14 <i>Accelerometer</i> tipe <i>strain gauge</i>	36
Gambar 2.15 Linearitas <i>range</i> frekuensi.....	37
Gambar 2.16 Proses <i>sampling</i> sinyal analog ke digital.....	40
Gambar 2.17 Fenomena <i>undersampling</i>	40
Gambar 2.18 Fenomena <i>aliasing</i>	41
Gambar 3.1 (a) <i>Test-rig</i> kavitasi, (b) Skema <i>test-rig</i> kavitasi.....	43
Gambar 3.2 Pompa sentrifugal <i>monoblock</i>	44
Gambar 3.3 Instalasi pipa <i>PVC</i>	44
Gambar 3.4 <i>Pressure gauge</i>	45
Gambar 3.5 <i>Vacuum gauge</i>	45
Gambar 3.6 <i>Flow meter</i>	46
Gambar 3.7 <i>Valve</i>	46
Gambar 3.8 <i>Tachometer</i> digital	47
Gambar 3.9 <i>Accelerometer</i>	47
Gambar 3.10 Kabel <i>Connector</i>	48

Gambar 3.11 (a) Perangkat data akuisisi (b) Perangkat akuisisi <i>NI 9234</i> pada <i>chassis NI Compact DAQ-9174</i>	49
Gambar 3.12 Tangki.....	50
Gambar 3.13 Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 3.14 Skema akuisisi data	52
Gambar 3.15 Diagram alir akuisisi data sinyal <i>vibrasi</i>	54
Gambar 4.1 Perbandingan plot domain waktu tiap variasi kondisi	58
Gambar 4.2 Visualisasi kavitas (a) kondisi normal, (b) kavitas level 1, (c) kavitas level 2, (d) kavitas level 3	59
Gambar 4.3 Karakteristik parameter statistik <i>RMS</i>	61
Gambar 4.4 Karakteristik parameter statistik <i>SD</i>	61
Gambar 4.5 Karakteristik parameter statistik <i>peak value</i>	62
Gambar 4.6 Karakteristik parameter statistik <i>kurtosis</i>	63
Gambar 4.7 Karakteristik parameter statistik <i>variance</i>	63
Gambar 4.8 Karakteristik parameter statistik <i>crest factor</i>	64
Gambar 4.9 Karakteristik parameter statistik <i>mean</i>	65
Gambar 4.10 Karakteristik parameter statistik <i>entropy</i>	65
Gambar 4.11 Karakteristik parameter statistik <i>minimum value</i>	66
Gambar 4.12 Karakteristik parameter statistik <i>SE</i>	67
Gambar 4.13 Grafik hubungan <i>ranked</i> dan <i>weight</i>	69
Gambar 4.14 (a) <i>Training</i> data normal dan kavitas level 1, (b) Hasil <i>testing</i> data	71
Gambar 4.15 (a) <i>Training</i> data normal dan kavitas level 2, (b) Hasil <i>testing</i> data	72
Gambar 4.16 (a) <i>Training</i> data normal dan kavitas level 3, (b) Hasil <i>testing</i> data	74
Gambar 4.17 <i>Confusion matrix multi class SVM</i>	76
Gambar 4.18 Diagram alir proses optimalisasi menggunakan <i>GSM</i>	78
Gambar 4.19 <i>Confusion matrix</i> hasil optimalisasi algoritma <i>GSM</i>	79
Gambar 4.20 Diagram alir optimalisasi menggunakan <i>BO</i>	80
Gambar 4.21 <i>Confusion matrix</i> optimalisasi algoritma <i>BO</i>	82

Gambar 4.22 (a) *Training optimal multi class SVM*, (b) Hasil *test optimal multi class SVM* 83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penggunaan parameter statistik domain waktu	8
Tabel 2.2 Penggunaan <i>kernel function</i> dan optimalisasi pada <i>SVM</i>	9
Tabel 4.1. Hasil akuisisi data sinyal <i>vibrasi</i>	57
Tabel 4.2 Penggunaan parameter statistik domain waktu	60
Tabel 4.3 Hasil analisa karakteristik parameter statistik domain waktu	67
Tabel 4.4 Hasil Seleksi Parameter Statistik Domain Waktu.....	69
Tabel 4.5 Hasil Klasifikasi <i>Binary SVM</i>	75
Tabel 4.6 Parameter hasil optimalisasi algoritma <i>GSM</i>	77
Tabel 4.7 Parameter hasil optimalisasi algoritma <i>BO</i>	81
Tabel 4.8 Performa hasil klasifikasi <i>multi class SVM</i>	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Sensor Accelerometer	93
Lampiran 2. Script MATLAB Data Akuisisi	94
Lampiran 3. Script MATLAB Plot Data Domain Waktu	95
Lampiran 4. Script MATLAB Esktraksi Parameter Statistik Domain Waktu	96
Lampiran 5. Script MATLAB Seleksi Parameter Statistik	105
Lampiran 6. Script MATLAB Klasifikasi <i>Binary SVM</i>	106
Lampiran 7. Script MATLAB Klasifikasi <i>Multi-Class SVM</i>	108
Lampiran 8. Gambar Hasil <i>Multi-Class SVM</i> tanpa Optimalisasi	111
Lampiran 9. Gambar Hasil <i>Multi-Class SVM</i> menggunakan <i>GSM</i>	112

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan ini khususnya kepada :

1. Kedua orang tua penyusun, Ayahanda tercinta Tanda Bani Rasu dan Ibunda Cut Melur Farinoka, yang telah merestui serta memberikan dukungan yang tak terputus pada penyusun baik secara moril maupun materi selama menjalani perkuliahan.
2. Keluarga, kakak, dan adik atas motivasi, dukungan serta do'a yang selalu di berikan demi keberhasilan dalam perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Ikhsan Aprima Kausar, Niko Prastomo, Debby Arikh Nafsaka, dan Yudha Yanuar Pamungkas, selaku keluarga (tim Tugas Akhir) yang selalu membantu penyusun dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.
4. Bapak Berli Paripurna Kamiel, S.T, M.Eng.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sekaligus dosen pembimbing pertama yang selalu memberikan waktu, bimbingan, serta hal dan pengalaman baru yang sangat bermanfaat bagi penyusun.
5. Bapak Dr. Bambang Riyanta, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang memberikan masukan, kritikan, serta pengembangan yang sangat bermanfaat bagi penyusun selama melaksanakan tugas akhir.
6. Bapak Muh. Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji. Ucapan terima kasih yang berlimpah atas masukan dan koreksi terhadap tugas akhir ini.
7. Bapak Jaza'ul Ikhsan S.T., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
8. Seluruh Dosen Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, atas arahan dan bimbingan yang telah diberikan selama menempuh masa perkuliahan.

9. Pak Joko, Pak Mujiana, dan Pak Mujiarto, selaku laboran Teknik Mesin UMY, atas bantuan dan bimbingan yang telah melancarkan penyusun dalam melakukan kegiatan perkuliahan serta tugas akhir ini.
10. Mbak Widi, Mbak Woro, Mbak Adel, Mbak Ana, Pak Wawan, dan seluruh staff dan karyawan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, atas pelayanan luar biasa yang telah diberikan kepada penyusun.
11. Ade Lina Demayanti, S.Pd., terima kasih atas dukungan, kritikan, motivasi, dan saran yang tak henti-hentinya diberikan kepada penyusun selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Apryanto, Ade Sanjaya, Eko Saryanto, Intan Wijaya, dan Rully Henrydian, selaku teman, sahabat, serta keluarga Barisan Para Mantan yang telah menjadi motivator dan selalu memberi dukungan untuk kesuksesan penyusun.
13. Arep, Adit, Wawan, dan seluruh anggota MBA Yogyakarta, yang telah menjadi saudara dan keluarga bagi penyusun selama menempuh perkuliahan di Yogyakarta.
14. Kurniady, Bang Zefri, Bang Abdi, Mas Fabio, serta seluruh senior yang telah banyak memberikan nasehat dan wejangan kepada penyusun serta selalu menjadi solusi ketika sedang dalam masalah.
15. Tiyon Prakasa, Ade Yoga, Rizki Mi'raj, Aditya Riesandi, Achmad Muslim, dan Yudho, selaku sahabat yang selalu memberi dukungan kepada penyusun.
16. Taufik Fadhilah, Yuda Aria, Rori, Ikrar, dan seluruh kerabat Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM UMY) yang telah memberi dukungan dan pelajaran hidup penting bagi penyusun.
17. Seluruh teman – teman Teknik Mesin UMY angkatan 2014, terkhusus kepada rekan-rekan Kelas B.
18. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan disini yang telah membantu dan mendukung penyusun.