



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**OPTIMASI DAERAH *SLIP* PADA PERMUKAAN BERTEKSTUR  
PADA PELUMASAN MEMS (*MICRO ELECTRO MECHANICAL  
SYSTEMS*)**

**TUGAS SARJANA**

**ALI ZULFIKAR  
L2E 006 007**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
DESEMBER 2010**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :  
Nama : Ali Zulfikar  
NIM : L2E 006007  
Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT  
Jangka Waktu : 6 (enam) bulan  
Judul : **Optimasi Daerah *Slip* pada Permukaan Bertekstur pada Pelumasan MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*)**

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh *slip* terhadap *load support* dan *friction force*.
2. Menganalisa pengaruh tekstur permukaan terhadap *load support* dan *friction force*.
3. Mengoptimasi letak daerah *slip* pada permukaan bertekstur.

Dosen Pembimbing,

Dr. Jamari, ST, MT  
NIP. 197 403 042 000 121 001

## **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 : Ali Zulfikar**  
**NIM : L2E 006 007**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 22 Desember 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Ali Zulfikar

NIM : L2E 006 007

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Optimasi Daerah *Slip* pada Permukaan Bertekstur pada Pelumasan MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*)

**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. Jamari, ST, MT

(  )

Penguji : Ir. Sumar Hadi Suryo

(  )

Penguji : Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK

(  )

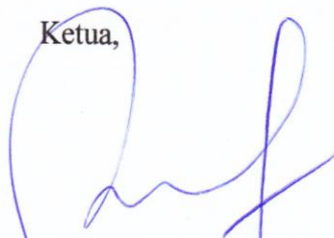
Penguji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT

(  )

Semarang, 27 Desember 2010

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



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 : ALI ZULFIKAR  
NIM : L2E 006 007  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

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

**“OPTIMASI DAERAH *SLIP* PADA PERMUKAAN BERTEKSTUR PADA PELUMASAN MEMS (*MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS*)”**

beserta 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 : 23 Desember 2010

Yang menyatakan

( ALI ZULFIKAR )  
NIM: L2E006007

## ABSTRAK

*Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) adalah struktur peralatan elektro-mekanik terdiri dari sensor mikro, dan peraga pendukung lainnya di dalam ukuran miniatur. Untuk mengurangi gesekan antar permukaan yang ada dalam MEMS, maka dibutuhkan pelumasan atau pelumasan. Permasalahan utama yang terdapat dalam pelumasan pada MEMS adalah terjadinya *stiction* yaitu proses menempelnya permukaan yang satu dengan yang lain. *Stiction* menyebabkan rusaknya komponen yang ada pada MEMS karena tidak dapat bergerak sesuai dengan kebutuhannya. Salah satu cara agar tidak terjadi *stiction*, adalah dengan memodifikasi permukaan. Dengan memodifikasi permukaan.

Dalam penyelesaian numerik tugas akhir ini menggunakan *finite difference method* (metode beda hingga). Dalam matematika, metode beda hingga adalah suatu metode numerik yang digunakan untuk mendekati hasil dari persamaan diferensial menggunakan persamaan beda hingga dalam mendekati fungsi turunannya.

Pembahasan analisis numerik dari *sliding contact* pada kondisi *slip/noslip*. *Slip* adalah asumsi yang terjadi ketika tegangan geser kritis terlampaui. Hasil yang ditunjukkan pada saat tegangan geser kritis sama dengan nol, secara signifikan dapat meningkatkan *load support* dan mengurangi gesekan dengan pemberian kondisi *slip* yang tepat. Optimasi dari daerah *slip* akan lebih meningkatkan *load support* dan mengurangi gesekan. Penambahan permukaan bertekstur untuk pada daerah *slip* juga meningkatkan *load support*.

Kata kunci: optimasi, tekstur, *micro electro mechanical systems*, pelumasan

## **ABSTRACT**

*Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) is an electro-mechanical structure equipment that consists of micro sensor and another supporting visual in micro scale. To decrease the friction force between the surfaces in the MEMS, a lubricant is highly needed. The main problem of lubrication in MEMS is the stiction. Stiction is the process of adhering one surface to another surface. Stiction causes a damage of component in MEMS because it can not move normally. One of the methods to prevent stiction is by modifying the surface.*

*In numerical solution, this work uses finite difference methods. In mathematics, finite-difference methods are numerical methods for approximating the solutions to differential equations using finite difference equations to approximate derivatives.*

*In the present study, a numerical analysis of a sliding contact with such an engineered slip/noslip surface is analyzed. Slip is assumed to occur when a critical shear stress is exceeded and follows the Navier relation. The result shows that with critical shear stress of zero, a significant increase in load support and decrease in friction can be achieved with an appropriate surface pattern. Optimization of region slip will more increase load support. The addition of textured surface in the slip region will increase load support.*

*Keywords: optimization, texture, micro electro mechanical systems, lubrications*

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji hanya bagi Allah SWT 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 motivasi, arahan dan bimbingan. Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- (1) Bapak dan Ibu yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat.
- (2) Bapak Dr. Jamari, ST, MT. selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
- (3) Bapak M. Tauviqurrahman, ST, MT. dan bapak Rifky Ismail, ST, MT. selaku dosen pembimbing pada LAB. EDT.
- (4) Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan Tugas Akhir ini.

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, November 2010

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.....	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Pelumasan.....	6
2.2.1 Fungsi Bahan Pelumas.....	6
2.2.2 Jenis Pelumasan.....	7
2.2 Kekentalan ( <i>Viscosity</i> ).....	8
2.3 Algoritma Matriks Tridiagonal (TDMA).....	9
2.4 Metode Beda Hingga.....	12
2.5 Tekstur Permukaan.....	13

2.5.1	Bentuk-Bentuk Tekstur Permukaan.....	13
2.5.2	Pengaruh Tekstur Permukaan Terhadap <i>Slip</i> .....	14
BAB III ANALISA NUMERIK .....		18
3.1	Pendahuluan .....	18
3.2	Kasus I <i>Sliding Contact</i> Dengan Kondisi Navier- <i>Slip</i> .....	19
3.2.1	Konfigurasi <i>Bearing</i> .....	19
3.2.2	Kondisi Batas .....	20
3.2.3	Penyusunan Persamaan .....	20
3.3	Kasus II <i>Sliding Contact</i> Dengan Tegangan Geser Kritis.....	23
3.3.1	Kondisi Batas .....	23
3.3.2	Penyusunan Persamaan .....	24
3.4	Parameter Kinerja.....	25
3.4.1	Kapasitas Penahan Beban .....	25
3.4.2	Gaya Gesek .....	25
3.5	Penyusunan Persamaan Tak Berdimensi Untuk Kasus I .....	25
3.6	Solusi Numerik .....	26
3.6.1	Diskritisasi Bidang .....	26
3.6.2	Kondisi Batas <i>Slider Bearing</i> .....	27
3.6.3	Diskritisasi Penyusunan Persamaan.....	27
3.7	Penyusunan Persamaan Berdimensi Untuk Kasus II .....	30
3.8	<i>Flow Chart</i> Pemrograman.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		36
4.1	Kasus <i>Slip</i> Pada Permukaan <i>Smooth</i> .....	36
4.1.1	Validasi Hasil Kasus I.....	36
4.1.2	Optimasi Daerah <i>Slip</i> Untuk Kasus I.....	45
4.1.3	Hasil Kasus II.....	50
4.2	Kasus <i>Slip</i> Pada Permukaan Bertekstur .....	57
4.3	Pembahasan.....	60

BAB V PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan .....	62
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN BAHASA PEMOGRAMAN C++ .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Micro-gas turbine generator.....	1
Gambar 1.2	Flow chart penelitian .....	4
Gambar 2.1	Skema profil kecepatan pada plat.....	9
Gambar 2.2	Titik-titik nodal pada metode beda hingga.....	12
Gambar 2.3	Single texture pada permukaan bertekstur.....	15
Gambar 2.4	Berbagai region validitas Reynolds terhadap Persamaan Navier-Stokes .....	16
Gambar 2.5	Pemodelan permukaan bertekstur .....	17
Gambar 3.1	(a) Diagram slider bearing dilihat dari samping .....	19
Gambar 3.1	(b) Pola slip/no-slip pada permukaan kedua .....	19
Gambar 3.2	Diagram tegangan geser resultan vektor dan vektor digunakan untuk menentukan slip kecepatan.....	24
Gambar 3.3	Meshing .....	27
Gambar 3.4	Kontrol volume sekitar nodal P kecepatan.....	28
Gambar 3.5	Flow chart untuk kasus I dengan kondisi Navier-slip.....	32
Gambar 3.6	Flow chart untuk kasus II dengan kondisi tegangan geser kritis .....	34
Gambar 4.1	(a) slip dengan $A = 100$ (b) tanpa slip $A = 0$ .....	37
Gambar 4.2	Profil tekanan pada kasus konvensional tanpa slip pada $U = 50$ .....	37
Gambar 4.3	Profil tekanan pada kasus I kondisi Navier-slip pada $U = 50$ .....	38
Gambar 4.4	Profil tekanan pada kasus konvensional tanpa slip pada $U = 500$ .....	38
Gambar 4.5	Profil tekanan kasus I kondisi Navier-slip pada $U = 500$ .....	39
Gambar 4.6	Grafik perbandingan $W$ dengan $U$ (tak berdimensi).....	39
Gambar 4.7	Grafik perbandingan $W$ dengan $A$ (tak berdimensi) .....	40
Gambar 4.8	Grafik perbandingan $W$ dengan $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	40
Gambar 4.9	Grafik perbandingan $Q_y$ dengan $U$ (tak berdimensi) .....	41

Gambar 4.10	Grafik perbandingan $Q_y$ dengan $A$ (tak berdimensi).....	42
Gambar 4.11	Grafik perbandingan $Q_y$ dengan $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	42
Gambar 4.12	Grafik perbandingan $F$ dengan $U$ (tak berdimensi) .....	43
Gambar 4.13	Grafik perbandingan $F$ dengan $A$ (tak berdimensi).....	44
Gambar 4.14	Grafik perbandingan $F$ dengan $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	44
Gambar 4.15	(a) Daerah <i>slip</i> tanpa optimasi.....	45
Gambar 4.15	(b) Daerah <i>slip</i> $\omega = 1$ & $l = 0.65$ .....	45
Gambar 4.15	(c) Daerah <i>slip</i> dengan optimasi.....	46
Gambar 4.16	Profil tekanan tanpa optimasi .....	46
Gambar 4.17	Profil tekanan dengan daerah <i>slip</i> $\omega = 1$ & $l = 0.65$ .....	47
Gambar 4.18	Profil tekanan dengan optimasi.....	47
Gambar 4.19	(a) Daerah <i>slip</i> $\omega = 1$ & $l = 0.65$ .....	48
Gambar 4.19	(b) Daerah optimasi <i>slip</i> .....	48
Gambar 4.19	(c) <i>Slope incline ratio</i> ( $\varepsilon$ ) .....	48
Gambar 4.20	Profil tekanan $\omega = 1$ & $l = 0.65$ dengan optimasi $\varepsilon$ .....	49
Gambar 4.21	Profil tekanan dengan optimasi 2 variabel .....	49
Gambar 4.22	Profil tekanan kasus II tanpa optimasi .....	50
Gambar 4.23	Profil kecepatan <i>slip</i> pada saat $tco = 0$ [ $N/m^2$ ].....	51
Gambar 4.24	Profil kecepatan <i>slip</i> pada saat $tco = 10$ [ $N/m^2$ ].....	51
Gambar 4.25	Profil kecepatan <i>slip</i> pada saat $tco = 100$ [ $N/m^2$ ].....	52
Gambar 4.26	Profil kecepatan <i>slip</i> pada saat $tco = 1000$ [ $N/m^2$ ].....	52
Gambar 4.27	Grafik perbandingan $W$ terhadap $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	53
Gambar 4.28	Grafik perbandingan $Q_y$ terhadap $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	54
Gambar 4.29	Grafik perbandingan $F$ terhadap $\varepsilon$ (tak berdimensi) .....	55
Gambar 4.30	Daerah <i>slip</i> yang dioptimasi.....	56
Gambar 4.31	Profil optimasi tekanan kasus II .....	56
Gambar 4.32	Profil tekanan pada permukaan bertekstur menyeluruh .....	57
Gambar 4.33	Profil tekanan pada permukaan bertekstur parsial $\omega = 0.75$ dan $l = 0.625$ .....	58
Gambar 4.34	Profil tekanan pada permukaan bertekstur menyeluruh .....	58

Gambar 4.35	Profil tekanan pada permukaan bertekstur parsial $\omega = 1$ dan $l = 0.65$ .....	59
Gambar 4.36	Profil tekanan pada permukaan bertekstur parsial hasil optimasi pada daerah $\omega = 0.777$ dan $l = 0.635$ .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam-macam bentuk permukaan bertekstur.....	13
Tabel 4.1	Hasil optimasi daerah <i>slip</i> dan <i>slope incline ratio</i> ( $\varepsilon$ ) .....	56
Tabel 4.2	Perbandingan hasil daerah <i>slip</i> dengan daerah permukaan bertekstur .....	61

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$\alpha$	Konstanta <i>slip</i>	[m <sup>2</sup> s/kg]
$\varepsilon$	<i>Slope incline ratio</i>	[-]
$\lambda$	Aspek rasio	[-]
$\mu$	Viskositas	[Pas]
$\tau$	Gaya geser fluida	[N/m <sup>2</sup> ]
$\tau_c$	Tegangan geser permukaan	[N/m <sup>2</sup> ]
$\tau_{co}$	Tegangan geser kritis	[N/m <sup>2</sup> ]
$lx$	Panjang <i>bearing</i> arah x	[m]
$ly$	Panjang <i>bearing</i> arah y	[m]
$Lx$	Panjang <i>bearing</i> arah x tak berdimensi ( $x/lx$ )	[-]
$Ly$	Panjang <i>bearing</i> arah y tak berdimensi ( $y/ly$ )	[-]
$P^*$	Tekanan fluida	[-]
$P$	Tekanan fluida tak berdimensi ( $P^*.h_o^2/\mu.U.lx$ )	[-]
$F^*$	Gaya gesek	[N]
$F$	Gaya gesek tak berdimensi ( $F^*.h_o/\mu.U.lx$ )	[-]
$U$	Kecepatan permukaan arah x	[m/s]
$U_s$	Kecepatan <i>slip</i>	[m/s]
$V$	Kecepatan permukaan arah y	[m/s]
$W^*$	<i>Load support</i>	[N]
$W$	<i>Load support dimensionless</i> ( $W = P^*.h_o^2/\mu.U.lx$ )	[-]
$b$	Panjang <i>slip</i>	[m]
$h_i$	Ketebalan fluid film masuk	[-]
$h_o$	Ketebalan fluid film keluar	[-]
$h_i^*$	Ketebalan fluid film masuk (berdimensi)	[m]
$h_o^*$	Ketebalan fluid film keluar (berdimensi)	[m]
$h_D$	Kedalaman <i>dimple</i>	[m]
$l_D$	Panjang <i>dimple</i>	[m]

$l_c$	Panjang permukaan bertekstur	[m]
$q$	<i>Flow rate</i>	[m <sup>3</sup> /s]
$u$	Kecepatan fluida arah x	[m/s]
$v$	Kecepatan fluida arah y	[m/s]