

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS PENGARUH PERMUKAAN *SLIP TEXTURE* TERHADAP PERFORMANSI PELUMASAN PADA KONTAK *SLIDING* MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA**



*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)*

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*

Disusun oleh:

**DEFRI RASDIAN**

**L2E 007 026**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Defri Rasdian

NIM : L2E 007 026

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT.

Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan

Judul : **Analisis Pengaruh Permukaan *Slip Texture* terhadap Performansi Pelumasan pada Kontak *Sliding* Menggunakan Metode Volume Hingga**

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh *slip* dengan *slip (critical shear stress)* terhadap performansi pelumasan pada kontak *sliding* dengan metode volume hingga.
2. Perbandingan pengaruh *slip texture* terhadap performansi pelumasan pada kondisi *slip* dan *no-slip*.

Dosen Pembimbing,




Dr. Jamari, ST., MT.

NIP. 197403042000121001

## 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 : Defri Rasdian  
NIM : L2E 007 026  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 20 Desember 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Defri Rasdian  
NIM : L2E 007 026  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin/S-I  
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Permukaan *Slip Texture* terhadap Performansi Pelumasan pada Kontak *Sliding* Menggunakan Metode Volume Hingga

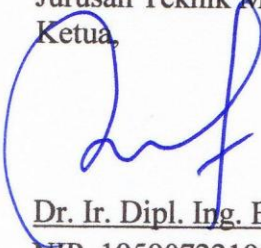
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT. (  )  
Penguji : Dr. MSK Tony Suryo Utomo, ST, MT (  )  
Penguji : Dr. Sulardjaka, ST, MT (  )  
Penguji : Dr.rer.nat. Ir. A.P. Bayuseno, Msc (  )

Semarang, 20 Desember 2011

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 : Defri Rasdian  
NIM : L2E 007 026  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

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 :

**“Analisis Pengaruh Permukaan *Slip Texture* terhadap Performansi Pelumasan pada Kontak *Sliding* Menggunakan Metode Volume Hingga”**

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 mempublikasikan 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 : 20 Desember 2011

Yang menyatakan



(Defri Rasdian)

## ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang ada pada pelumasan dalam MEMS adalah *stiction*. *Stiction* merupakan peristiwa melekatnya permukaan satu dengan permukaan yang lain. Salah satu cara agar tidak terjadi *stiction* adalah dengan cara memberikan efek pada permukaan tersebut sehingga tidak dapat menyerap air atau dapat dikenal sebagai *hydrophobic*. Sehingga fluida yang digunakan sebagai pelumas akan terjadi *slip* pada permukaan batas. Untuk menjadikan fenomena *slip* pada permukaan, ada 2 cara yaitu dengan cara pelapisan permukaan (*coating*) atau memberikan efek kekasaran permukaan.

*Slip* biasanya dideskripsikan dengan *slip length model* pada laju geser yang rendah atau dengan *critical shear stress model* untuk laju geser yang tinggi. Pemodelan kasus kontak *sliding* dimodelkan dengan *infinite width*. Pemodelan dipecahkan menggunakan metode volume hingga, yaitu solusi dibagi ke dalam sejumlah *control volume* yang berhingga, dan persamaan umum yang telah didiskretisasi diaplikasikan pada tiap *control volume*.

Hasil menunjukkan bahwa penggunaan permukaan *texture* dan ditambahkan efek *slip* dapat meningkatkan tekanan hidrodinamis sebesar dari tiga kali lipat dari kondisi *no-slip*. *Load support* maksimum didapatkan pada panjang daerah *slip* sebesar 0.65 dari panjang kontak *sliding*. Pengaruh kekasaran permukaan dapat meningkatkan *load support* pada kondisi *no-slip* dengan panjang  $T_R/Lx$  sebesar 0.65. Sedangkan pada kondisi *slip*, kekasaran permukaan akan menurunkan *load support* pada kondisi *critical shear stress*.

Kata kunci: *stiction*, pelumasan, *slip*, kekasaran permukaan, metode volume hingga.

## **ABSTRACT**

*One of the lubrication problems in MEMS is stiction. Stiction is a phenomenon of adhering one surface to another surface. A method to reduce stiction is by giving the surface with hydrophobic properties. Thus fluid used as lubricant will slip at boundary surface. There are two methods to make slip, i.e. by coating the surface or by giving the surface roughness.*

*Slip is usually described by slip length model in low shear rate and critical shear stress model in high shear rate. All cases in the present work are modeled by sliding contact with infinite width. The problems are solved by finite volume method, in which the solution divided into discrete control volume and discretised equation applied on each control volume.*

*Results show that by employing the texture surface and slip can increase the hydrodynamic pressure. It becomes three times higher than the no-slip condition. Maximum load support is found when the length of slip region is 0.65 from length of sliding contact. The effect of surface roughness can increase the load support in no-slip condition with  $T_R/Lx$  of 0.65. But in the slip condition, the surface roughness will decrease load support with critical shear stress condition.*

*Keywords: stiction, lubrication, slip, surface roughness, finite volume method.*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas Sarjana ini sebagai rasa syukur Penulis dan dipersembahkan untuk:

- ✚ Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya.
- ✚ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a dan dukungan baik moril maupun material, semoga Kalian bahagia dan bangga.
- ✚ Adik dan seluruh keluargaku tersayang, terimakasih atas dukungannya.



## **KATA PENGATAR**

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya, karena hanya dengan izin-Nya lah maka penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Kedua sholawat dan salam semoga selalu dilimpahkan kepada Nabi Besar, Nabi akhir jaman, yang diutus untuk seluruh umat manusia, NABI MUHAMMAD SAW, karena dengan cinta, kasih dan tauladanmu setiap umat manusia yang mengikutimu dapat menuju ke kebahagiaan abadi.

Pada dasarnya karya ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini perkenankanlah Penulis untuk mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, diantaranya:

1. Dr. Jamari, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak M. Tauviqurrahman, ST., MT. selaku dosen di LAB. EDT.
3. Bambang Wijanarko selaku rekan yang membantu simulasi penelitian dalam Tugas Akhir.

Penyusun menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan dan kemajuan penulis dimasa yang akan datang sangat diharapkan. Akhir kata penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, 20 Desember 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
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
NOMENKLATUR .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II DASAR TEORI.....	8
2.1 Pendahuluan .....	8
2.2 <i>Hydrodynamic Lubrication</i> .....	8
2.2.1 Penurunan Persamaan Reynolds Klasik .....	12
2.2.2 Penyederhanaan Persamaan Reynolds.....	19
2.2.3 Parameter Performansi Pelumasan .....	20
2.3 Fenomena <i>Slip</i> .....	20
2.3.1 Bukti-bukti Adanya <i>Slip</i> .....	21
2.3.2 Pengukuran <i>Slip</i> .....	22

2.3.3	Model-model <i>Slip</i> .....	22
2.4	Kekasaran Permukaan .....	24
2.4.1	Bentuk-bentuk Kekasaran Permukaan.....	25
2.4.2	Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap <i>Slip</i> .....	25
2.5	Teori Dasar Metode Volume Hingga .....	26
2.6	Formulasi Permasalahan.....	31
2.7	Diskretisasi Persamaan Umum.....	38
2.8	<i>Flowchart</i> Pemograman .....	40
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....		42
3.1	Hasil dan Pembahasan .....	42
3.1.1	Parameter pemodelan Permukaan kombinasi <i>Slip Texture</i> dengan <i>Slip (Critical Shear Stress Model)</i> .....	42
3.1.2	Verifikasi hasil perhitungan.....	43
3.1.3	Perubahan distribusi <i>load support</i> dengan berbagai variasi .....	45
BAB IV PENUTUP .....		51
4.1	Kesimpulan.....	51
4.2	Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....		52
LAMPIRAN PEMROGRAMAN MATLAB .....		55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Digital micro mirror [2].....	1
Gambar 1.2	Roadmap penelitian.....	5
Gambar 1.3	Flowchart penelitian .....	6
Gambar 2.1	Jenis-jenis rezim pelumasan [11].....	9
Gambar 2.2	Skema bantalan sebagian yang dipakai oleh Tower [12].....	10
Gambar 2.3	Kurva distribusi tekanan yang mendekati, yang didapat Tower [12].	11
Gambar 2.4	Skema axial thrust pad bearing [14]. .....	12
Gambar 2.5	Fluid film antara dua permukaan solid [9].....	12
Gambar 2.6	Volume elemen fluida [9]. .....	14
Gambar 2.7	Kontinuitas aliran sebuah elemen [13].....	17
Gambar 2.8	Interpretasi dari panjang slip [19]. .....	23
Gambar 2.9(a)	Pembagian control volume I dimensi [31]. .....	28
Gambar 2.9(b)	Panjang control volume [31]. .....	28
Gambar 2.10	Grid 2 Dimensi [31]. .....	30
Gambar 2.11	Grid 3 Dimensi [31]. .....	31
Gambar 2.12	Bentuk single texture pada permukaan yang kasar [30]. .....	32
Gambar 2.13	Berbagai region validitas Reynolds terhadap persamaan Navier-Stokes [32]. .....	33
Gambar 2.14	Pemodelan permukaan kasar.....	34
Gambar 2.15	Pendekatan deret Fourier [33].....	37
Gambar 2.16	Pemodelan Control volume nodal P pada infinite width slider bearing [30].....	38
Gambar 2.17	Flowchart pemrograman untuk critical shear stress model .....	40
Gambar 3.1	Bentuk satu cell kekasaran permukaan .....	42
Gambar 3.2	Distribusi load support (tak berdimensi) terhadap panjang daerah texture dengan variasi critical shear stress pada kondisi no-slip dan slip pada ( $\lambda = 30$ ).....	44
Gambar 3.3	Distribusi load support (tak berdimensi) terhadap panjang dimple dengan variasi critical shear stress pada permukaan	

	<i>texture (partial) <math>T_R/L = 0.65</math> pada kondisi <i>coefficient slip</i> (<math>A = 20</math>) dan <i>no-slip</i> .....</i>	45
Gambar 3.4	Distribusi <i>load support</i> (tak berdimensi) terhadap nilai <i>coefficient slip</i> dengan variasi <i>critical shear stress</i> pada permukaan <i>texture (partial) <math>T_R/L = 0.65</math> pada (<math>\lambda = 30</math>)</i> .....	46
Gambar 3.5	Distribusi <i>load support</i> (tak berdimensi) terhadap <i>coefficient slip</i> dengan variasi <i>critical shear stress</i> pada permukaan <i>texture (partial) <math>T_R/L = 0.65</math> pada (<math>\lambda = 300</math>)</i> .....	47
Gambar 3.6	Distribusi <i>load support</i> (tak berdimensi) terhadap <i>critical shear stress</i> dengan variasi panjang <i>dimple</i> dengan permukaan <i>texture (partial) <math>T_R/L = 0.65</math> pada kondisi <i>coefficient slip</i> (<math>A = 20 \mu\text{m}</math>)</i> . .....	48
Gambar 3.7	Distribusi <i>load support</i> (tak berdimensi) terhadap <i>critical shear stress</i> dengan variasi <i>coefficient slip</i> pada permukaan kasar ( <i>partial) <math>T_R/L = 0.65</math> pada (<math>\lambda = 30</math>)</i> .....	49
Gambar 3.8	Daerah kondisi batas <i>slip</i> .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam-macam bentuk kekasaran permukaan [18].....	25
-----------	--	----

## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$\alpha$	Konstanta <i>slip</i>	[m/Pas]
$\lambda$	<i>Aspect ratio</i>	[-]
$\mu$	Viskositas	[Pas]
$\sigma$	Gaya normal fluida	[Pa]
$\tau$	Tegangan geser fluida	[N/m <sup>2</sup> ]
$\tau_c$	Tegangan geser kritis permukaan	[N/m <sup>2</sup> ]
$\tau_{co}$	Tegangan geser kritis	[N/m <sup>2</sup> ]
$L_x$	Panjang kontak <i>sliding</i>	[m]
$L_s$	Panjang daerah <i>slip</i>	[m]
$F$	Gaya gesek	[N]
$P$	Tekanan fluida	[Pa]
$U$	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 capacity</i>	[N]
$b$	Panjang <i>slip</i>	[m]
$h_F$	Ketebalan <i>fluid film</i>	[m]
$h_D$	Kedalaman <i>dimple</i>	[m]
$l_D$	Panjang <i>dimple</i>	[m]
$l_C$	Panjang permukaan bertekstur	[m]
$q$	Debit aliran	[m <sup>3</sup> /s]
$u$	Kecepatan fluida arah $x$	[m/s]
$v$	Kecepatan fluida arah $y$	[m/s]
$Sc$	<i>Source</i>	[-]