



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN
DAN *SLIP* TERHADAP PERFORMANSI PELUMASAN
PADA KONTAK *SLIDING* MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

TUGAS AKHIR

**RIFKI WIJAYA
L2E 006 075**

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Rifki Wijaya

NIM : L2E 006 075

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT.

Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan

Judul : **Analisa Pengaruh Kekasaran Permukaan dan *Slip* terhadap Performansi Pelumasan pada Kontak *Sliding* Menggunakan Metode Volume Hingga**

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh *slip* terhadap performansi pelumasan pada kontak *sliding* dengan berbagai macam model *slip*.
2. Menganalisa pengaruh kekasaran permukaan terhadap performansi pelumasan pada kontak *sliding*.
3. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan penelitian yang ada.

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 : Rifki Wijaya
NIM : L2E 006 075
Tanda Tangan : 
Tanggal : 22 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Rifki Wijaya
NIM : L2E 006 075
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Kekasaran Permukaan dan *Slip* terhadap Performansi Pelumasan pada Kontak *Sliding* Menggunakan Metode Volume Hingga

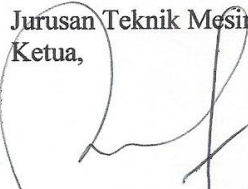
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing	: Dr. Jamari, ST., MT.	()
Penguji	: Ir. Sumar Hadi Suryo	()
Penguji	: Muchammad, ST., MT.	()
Penguji	: Khoiri Rozi, ST., MT.	()

Semarang, 22 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 : Rifki Wijaya
NIM : L2E 006 075
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 :

“ANALISA PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN DAN *SLIP* 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 : 22 Desember 2010

Yang menyatakan



(Rifki Wijaya)

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 yang *smooth* 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* dengan *gap ratio* sebesar 0.9 (divergen). Pengaruh kekasaran permukaan dapat meningkatkan *load support* pada kondisi *no-slip* dengan panjang hr/Lx sebesar 0.6. Sedangkan pada kondisi *slip*, kekasaran permukaan akan menurunkan *load support*.

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

ABSTRACT

One of the problems in lubrication 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 is divided into discrete control volume and discretised equation is applied on each control volume.

Results show that by employing the smooth surface and slip can increase the hydrodynamic pressure. It becomes three times bigger than the no-slip condition. Maximum load support is found when the length of slip region is 0.65 from length of sliding contact with gap ratio of 0.9. The effect of surface roughness can increase the load support in no-slip condition with hr/Lx of 0.6. But in the slip condition, the surface roughness will decrease load support.

Keywords: stiction, lubrication, slip, surface roughness, sliding, 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.
- ✚ Kakak, 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. Bapak dan Ibu yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat.
2. Dr. Jamari, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
3. Bapak Rifky Ismail, ST., MT. dan Bapak M. Tauviqurrahman, ST., MT. selaku dosen di LAB. EDT.
4. Semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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, Desember 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
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.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 <i>Hydrodynamic Lubrication</i>	8
2.2.1 Penurunan Persamaan Reynolds Klasik	10
2.2.2 Penyederhanaan Persamaan Reynolds.....	16
2.2.3 Parameter Performansi.....	18
2.3 Fenomena <i>Slip</i>	18
2.3.1 Bukti-bukti Adanya <i>Slip</i>	19
2.3.2 Pengukuran <i>Slip</i>	20

2.3.3	Model-model <i>Slip</i>	20
2.4	Kekasaran Permukaan	22
2.4.1	Bentuk-bentuk Kekasaran Permukaan.....	23
2.4.2	Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap <i>Slip</i>	24
BAB III PEMODELAN DENGAN METODE VOLUME HINGGA		25
3.1	Teori Dasar Metode Volume Hingga.....	25
3.2	Formulasi Permasalahan	30
3.2.1	Kasus I - Permukaan <i>Smooth (Slip Length Model)</i>	30
3.2.2	Kasus II - Permukaan <i>Smooth (Critical Shear Stress)</i> ..	33
3.2.3	Kasus III - Permukaan Kasar	34
3.3	Diskretisasi Persamaan Umum	37
3.3.1	Kasus I - Permukaan <i>Smooth (Slip Length Model)</i>	37
3.3.2	Kasus II - Permukaan <i>Smooth (Critical Shear Stress)</i> ..	39
3.3.3	Kasus III - Permukaan Kasar	41
3.4	<i>Flowchart</i> Pemrograman.....	42
3.4.1	<i>Slip Length Model</i>	42
3.4.2	<i>Critical Shear Stress Model</i>	44
BAB IV PEMBAHASAN.....		46
4.1	Hasil Kasus I (<i>Slip Length Model</i>)	46
4.2	Hasil Kasus I (<i>Critical Shear Stress Model</i>)	50
4.3	Hasil Kasus III (<i>Surface Roughness</i>).....	52
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN.....		62
1.	<i>Syntax</i> Pemrograman C++ untuk <i>Slip Length Model</i>	63
2.	<i>Syntax</i> Pemrograman C++ untuk <i>Critical Shear Stress Model</i>	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Salah satu contoh MEMS: <i>micro-gas turbine generator</i>	1
Gambar 1.2	<i>Flowchart</i> penelitian.....	4
Gambar 2.1	Dua rezim pelumasan	7
Gambar 2.2	Skema bantalan sebagian yang dipakai oleh Tower.....	8
Gambar 2.3	Kurva distribusi tekanan yang mendekati, yang didapat Tower	9
Gambar 2.4	Skema <i>axial thrust pad bearing</i>	10
Gambar 2.5	<i>Fluid film</i> antara dua permukaan solid	10
Gambar 2.6	Volume elemen fluida	12
Gambar 2.7	Kontinuitas aliran sebuah elemen.....	15
Gambar 2.8	Interpretasi dari panjang <i>slip</i>	21
Gambar 3.1	Pembagian <i>control volume</i> 1 dimensi.....	26
Gambar 3.2	Grid 2 Dimensi	29
Gambar 3.3	Grid 3 Dimensi	29
Gambar 3.4	Skema <i>infinite width slider bearing</i>	31
Gambar 3.5	Bentuk <i>single texture</i> pada permukaan yang kasar	35
Gambar 3.6	Berbagai region validitas Reynolds terhadap persamaan Navier-Stokes	36
Gambar 3.7	Pemodelan permukaan kasar	37
Gambar 3.8	<i>Control volume</i> nodal <i>P</i> pada <i>infinite width slider bearing</i>	38
Gambar 3.9	Pendekatan deret fourier.....	41
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> pemograman untuk <i>slip length model</i>	42
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> pemograman untuk <i>critical shear stress model</i>	44
Gambar 4.1	Distribusi tekanan dengan berbagai kondisi <i>gap ratio</i>	47
Gambar 4.2.	Grafik efek panjang daerah <i>slip</i> terhadap perbandingan antara <i>load support capacity</i> kondisi <i>slip</i> dengan <i>load support</i> <i>capacity</i> maksimum (<i>no-slip</i>) dengan variasi <i>gap ratio</i>	48
Gambar 4.3.	Grafik efek panjang daerah <i>slip</i> terhadap gaya gesek dengan variasi <i>gap ratio</i>	49

Gambar 4.4	Grafik W (tak berdimensi) terhadap <i>gap ratio</i> dengan variasi nilai tegangan geser kritis dan panjang daerah <i>slip</i> adalah $L_s/L_x = 0.65$ 50	50
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan <i>load support</i> kondisi <i>slip</i> dengan kondisi <i>no-slip</i> terhadap tegangan geser kritis dengan variasi <i>gap ratio</i> dan $L_s/L_x = 0.7$ 52	52
Gambar 4.6	Bentuk satu <i>cell</i> kekasaran permukaan..... 53	53
Gambar 4.7	Distribusi tekanan (tak berdimensi) pada kasus berbagai kasus dengan $L_r/L_x = 0.65$ dan $L_s/L_x = 0.65$ 54	54
Gambar 4.8	Distribusi tekanan (tak berdimensi) pada kasus berbagai kasus dengan $L_r/L_x = 1$ dan $L_s/L_x = 0.65$ 55	55
Gambar 4.9	Grafik <i>load support</i> (tak berdimensi) terhadap panjang daerah permukaan kasar pada kondisi <i>no-slip</i> dan <i>slip</i> dengan $L_s/L_x = 0.65$.. 56	56
Gambar 4.10	Grafik gaya gesek (tak berdimensi) terhadap panjang daerah permukaan kasar pada kondisi <i>no-slip</i> dan <i>slip</i> dengan $L_s/L_x = 0.65$. 57	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam-macam bentuk kekasaran permukaan	23
-----------	--	----

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
α	Konstanta <i>slip</i>	[m/Pas]
λ	<i>Aspect ratio</i>	[-]
μ	Viskositas	[Pas]
σ	Gaya normal fluida	[Pa]
τ	Gaya geser fluida	[N/m ²]
τ_c	Tegangan geser permukaan	[N/m ²]
τ_{co}	Tegangan geser kritis	[N/m ²]
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	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 ³ /s]
u	Kecepatan fluida arah x	[m/s]
v	Kecepatan fluida arah y	[m/s]