



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENGARUH *MICRO-TEXTURING* PADA PERMUKAAN
KONTAK TERLUBRIKASI DENGAN KONDISI BATAS
NO-SLIP UNTUK FLUIDA *NON-NEWTONIAN***

TUGAS AKHIR

**MUHAMMAD BAMBANG WIJANARKO
L2E 007 061**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
DESEMBER 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Muhammad Bambang Wijanarko

NIM : L2E 007 061

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT.

Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan

Judul : Pengaruh *micro-texturing* pada permukaan kontak terlubrikasi dengan kondisi batas *no-slip* untuk fluida *non-Newtonian*

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh permukaan *smooth* dengan kondisi *no-slip* untuk fluida *non-Newtonian* terhadap performansi pelumasan pada permukaan kontak.
2. Menganalisa pengaruh *micro-texturing* tipe *rectangular dimple* dengan kondisi *no-slip* terhadap performansi pelumasan pada permukaan kontak dengan menggunakan fluida *non-Newtonian*.
3. Menganalisa pengaruh *micro-texturing* tipe *sinusoidal* dengan kondisi *no-slip* terhadap performansi pelumasan pada permukaan kontak dengan menggunakan fluida *non-Newtonian*.

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 : Muhammad Bambang Wijanarko

NIM : L2E 007 061

Tanda Tangan :




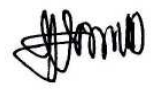


Tanggal : 29 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Muhammad Bambang Wijanarko
NIM : L2E 007 061
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh *micro-texturing* pada permukaan kontak
terlubrikasi dengan kondisi batas *no-slip* untuk fluida
non-Newtonian

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. Sri Nugroho, ST., MT. ()
Penguji : Muchammad, ST., MT. ()
Penguji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST., MT. ()

Semarang, 29 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 : Muhammad Bambang Wijanarko
NIM : L2E 007 061
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 :


“PENGARUH *MICRO-TEXTURING* PADA PERMUKAAN KONTAK TERLUBRIKASI DENGAN KONDISI BATAS *NO-SLIP* UNTUK FLUIDA *NON-NEWTONIAN*”

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 : 29 Desember 2011

Yang menyatakan



(Muhammad Bambang Wijanarko)

ABSTRAK

MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) merupakan gabungan dari komponen elektrik dan komponen mekanik dan mempunyai ukuran dari 1 mm sampai 100 nm. Sistem MEMS perlu dirancang untuk dapat melakukan fungsi yang diharapkan dalam kisaran milidetik sampai pikodetik. Permasalahan yang sering muncul pada MEMS yaitu melekatnya permukaan yang satu dengan permukaan lainnya yang saling kontak. Oleh karena itu, pelumasan merupakan hal penting yang perlu diberikan agar sistem MEMS tetap aman. Sebagian besar jenis fluida pelumas yang digunakan adalah jenis pelumas *Newtonian*. Pada penelitian kali ini akan dikembangkan teknologi pelumas *non-Newtonian*.

Kasus kontak *sliding* dimodelkan dengan *infinite width*. Pemodelan diselesaikan menggunakan metode volume hingga, yaitu persamaan 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 *no-slip* dapat meningkatkan tekanan hidrodinamis. Akan tetapi gaya gesek yang dihasilkan bernilai besar. *Load support* maksimum didapatkan pada kekasaran permukaan *rectangular dimple TR/Lx* sebesar 0,6 dari panjang kontak *sliding* dengan *gap ratio* sebesar 1. *Load support* maksimum didapatkan pada kekasaran permukaan *sinusoidal TR/Lx* sebesar 1 dari panjang kontak *sliding* dengan *gap ratio* sebesar 1.

Kata kunci: pelumasan, *non-Newtonian*, kekasaran permukaan, *sliding*, metode volume hingga.

ABSTRACT

MEMS (Micro Electro Mechanical System) is a combination of electrical component and mechanical component and have sized from 1 mm to 100 nm. The MEMS systems need to be designed to perform expected functions typically in millisecond to picosecond range. The problem appears of MEMS is adhering one surface to another surface. Therefore, lubrication is an important thing on MEMS. Most of the lubricant is Newtonian lubricant. In this final project, study of non-Newtonian lubricant technology will be developed.

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.

The results showed that the use of a smooth surface and added no-slip effect can increase the hydrodynamic pressure. However, the frictional forces gave great value. The maximum load support obtained on the rectangular dimple surface roughness TR/Lx 0.6 of a sliding contact with a gap ratio 1. The maximum load support obtained on the sinusoidal surface roughness TR/Lx 1 of the sliding contact with the gap ratio 1.

Keywords: lubrication, non-Newtonian, 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.
- ✚ Seluruh keluargaku tersayang dan teman-teman, terimakasih atas dukungannya.

KATA PENGANTAR

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. Dr. Sri Nugroho, ST., MT., Muchammad, ST., MT., dan Dr. Susilo Adi Widyanto, ST., MT. selaku dosen penguji Tugas Sarjana.
4. Bapak M. Tauviqurrahman, ST., MT. dan Bapak Rifky Ismail, ST., MT. selaku dosen di LAB. EDT.
5. 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 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 KAJIAN PUSTAKA.....	8
2.1 Pendahuluan	8
2.2 <i>Hydrodynamic Lubrication</i>	10
2.3 Jenis-jenis fluida.....	12
2.3.1 <i>Fluida Newtonian</i>	12
2.3.1.1 Penurunan Persamaan Reynold Klasik.....	13
2.3.1.2 Penyederhanaan Persamaan Reynolds.....	20
2.3.1.3 Parameter Performansi	21

2.3.2	Fluida <i>non-Newtonian</i>	22
2.4	Fenomena <i>Slip</i>	25
2.5	Kekasaran Permukaan	25
2.5.1	Bentuk-bentuk Kekasaran Permukaan.....	26
2.5.2	Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap <i>Slip</i>	27
2.6	Riset <i>Hydrodynamic Lubrication</i>	27
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
3.1	Kasus I-Permukaan <i>Smooth</i> dengan <i>no-Slip</i>	29
3.1.1	Deskripsi Masalah.....	29
3.1.2	Hasil	31
3.2	Kasus II-Permukaan Kasar <i>Rectangular Dimple</i> dengan <i>No-Slip</i>	37
3.2.1	Deskripsi Masalah.....	37
3.2.2	Hasil	38
3.3	Kasus III-Permukaan Kasar <i>Sinusoidal</i> dengan <i>No-Slip</i>	40
3.3.1	Deskripsi Masalah.....	40
3.3.2	Hasil	41
BAB IV PENUTUP		44
4.1	Kesimpulan	44
4.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN A PENURUNAN REYNOLD <i>NON-NEWTONIAN</i>		48
A.1	Penurunan Persamaan Reynold	48
A.2	Validasi Persamaan Reynold.....	56
LAMPIRAN B PERFORMANSI PELUMASAN.....		57
B.1	Persamaan <i>shear stress</i>	57
B.2	Parameter Performansi	58
LAMPIRAN C DISKRETISASI PERSAMAAN UMUM.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Salah satu contoh MEMS: <i>accelerometer</i> silikon untuk aplikasi sensor pada otomotif.....	1
Gambar 1.2	<i>Roadmap</i> penelitian <i>Design Diagram of Lubricated System</i> (MEMS).....	5
Gambar 1.3	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	6
Gambar 2.1	Jenis-jenis rezim pelumasan: (a) <i>Hydrodynamic lubrication</i> , (b) <i>Mixed lubrication</i> , (c) <i>Boundary lubrication</i>	9
Gambar 2.2.	Skema <i>bearing</i> sebagian yang dipakai oleh Tower	10
Gambar 2.3	Kurva distribusi tekanan yang mendekati, yang didapat Tower	11
Gambar 2.4	Skema <i>axial thrust pad bearing</i>	12
Gambar 2.5	Karakteristik fluida <i>Newtonian</i>	13
Gambar 2.6	<i>Fluid film</i> antara dua permukaan <i>solid</i>	13
Gambar 2.7	Volum elemen fluida	15
Gambar 2.8	Kontinuitas aliran sebuah elemen.....	18
Gambar 2.9	Model fluida <i>power law</i>	23
Gambar 3.1	(a) Diagram <i>slider bearing</i> dilihat dari samping. (b) Pola <i>no-slip</i> pada <i>surface a</i>	29
Gambar 3.2	Perbandingan nilai <i>load support W</i> pada <i>gap ratio ϵ</i> dievaluasi pada jumlah nodal <i>N</i> sebesar 40	31
Gambar 3.3	Perbandingan nilai <i>friction force F_f</i> pada <i>gap ratio ϵ</i> dievaluasi pada jumlah nodal <i>N</i> sebesar 40	32
Gambar 3.4	<i>Independence grid</i> pada <i>load support W</i>	33
Gambar 3.5	<i>Independence grid</i> pada <i>friction force F_f</i>	34
Gambar 3.6	Pengaruh indeks <i>power law n</i> terhadap <i>load support W</i>	35
Gambar 3.7	Pengaruh indeks <i>power law n</i> terhadap <i>friction force F_f</i>	36
Gambar 3.8	Pengaruh indeks <i>power law n</i> terhadap tekanan <i>hydrodynamic</i>	37
Gambar 3.9	Bentuk satu <i>cell</i> kekasaran permukaan.....	38
Gambar 3.10	Pengaruh panjang daerah permukaan kasar terhadap <i>load support W</i> pada indeks <i>power law n</i> bernilai 0,8.....	39

Gambar 3.11 Pengaruh panjang daerah permukaan kasar terhadap <i>friction force</i> <i>F_f</i> pada indeks <i>power law n</i> bernilai 0,8.....	40
Gambar 3.12 Bentuk kekasaran permukaan <i>sinusoidal</i>	41
Gambar 3.13 Pengaruh panjang daerah permukaan kasar terhadap <i>load support</i> <i>W</i> pada indeks <i>power law n</i> bernilai 0,8.....	42
Gambar 3.14 Pengaruh panjang daerah permukaan kasar terhadap <i>friction force</i> <i>F_f</i> pada indeks <i>power law n</i> bernilai 0,8.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai konstanta <i>power law</i> untuk beberapa sistem	24
Tabel 2.2	Macam-macam bentuk kekasaran permukaan.....	26

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
μ	Viskositas	[Pas]
σ	Gaya normal fluida	[Pa]
τ	Gaya geser fluida	[N/m ²]
q	Debit aliran	[m ³ /s]
u	Kecepatan fluida arah x	[m/s]
v	Kecepatan fluida arah y	[m/s]
F_f	Gaya gesek	[N]
P	Tekanan fluida	[Pa]
U	Kecepatan permukaan arah x	[m/s]
V	Kecepatan permukaan arah y	[m/s]
W	<i>Load support capacity</i>	[N]
n	Indeks <i>power law</i>	[-]
u_s	Kecepatan <i>slip</i>	[m/s]
u_b	Kecepatan permukaan bergerak	[m/s]
h	Ketebalan <i>fluid film</i>	[m]
h_i	Ketebalan <i>inlet fluid film</i>	[m]
h_o	Ketebalan <i>outlet fluid film</i>	[m]
h_D	Kedalaman <i>dimple</i>	[m]
l_D	Panjang <i>dimple</i>	[m]
a	Amplitudo	[m]
ε	<i>Gap ratio</i>	[-]