



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**ANALISIS PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN  
DAN *SLIP* TERHADAP PERFORMANSI PELUMASAN  
*JOURNAL BEARING* MENGGUNAKAN  
METODE VOLUME HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

**BAYU KURNIAWAN  
L2E 007 021**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Bayu Kurniawan

NIM : L2E 007 021

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT.

Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan

Judul : **Analisis Pengaruh Kekasaran Permukaan dan Slip terhadap Performansi Pelumasan *Journal Bearing* Menggunakan Metode Volume Hingga**

Isi Tugas :

1. Menganalisa pengaruh *slip* terhadap performansi pelumasan *journal bearing*.
2. Menganalisa pengaruh kekasaran permukaan terhadap performansi pelumasan *journal bearing*.

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 : Bayu Kurniawan  
NIM : L2E 007 021  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 20 Desember 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Bayu Kurniawan

NIM : L2E 007 021


Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Kekasaran Permukaan dan *Slip* terhadap Performansi Pelumasan *Journal Bearing* Menggunakan Metode Volume Hingga

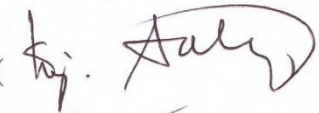
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Jamari, ST., MT.

(  )

Penguji : Ir. Djoeli Satrijo, MT.

(  )

Penguji : Dr. Syaiful, ST., MT.

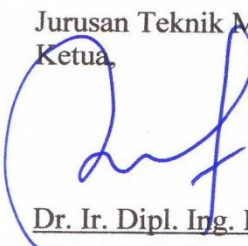
(  )

Penguji : Dr. MSK Tony Suryo U, ST., MT.

(  )

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 : Bayu Kurniawan  
NIM : L2E 007 021  
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 KEKASARAN PERMUKAAN DAN *SLIP* TERHADAP PERFORMANSI PELUMASAN *JOURNAL BEARING* 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



**(Bayu Kurniawan)**

## ABSTRAK

Salah satu komponen pada turbin gas adalah *journal bearing*. *Journal bearing* fungsinya menopang elemen berputar. Dengan turbin yang bekerja pada putaran tinggi serta harus menerima beban berat dari komponen mekanikal maka *journal bearing* harus memiliki kehandalan yang baik. Salah satu aspek yang penting dalam kehandalan *journal bearing* adalah performansi pelumasan yang baik.

Selama akhir dekade ini telah ditemukan bahwa *slip* terjadi pada aliran. *Slip* selalu menyebabkan pengurangan gaya gesek, sehingga memungkinkan untuk memproduksi suatu desain sistem *bearing* dengan gaya gesek yang rendah. Untuk menjadikan fenomena *slip* pada permukaan, ada 2 cara yaitu dengan cara pelapisan permukaan (*coating*) atau memberikan efek kekasaran permukaan.

*Slip* dideskripsikan dengan *Navier slip model*. 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 permukaan yang *smooth* dan ditambahkan efek *slip* dapat meningkatkan tekanan hidrodinamis dibandingkan dengan kondisi *no-slip*. *Load support* maksimum didapatkan pada panjang daerah *slip* sebesar  $170^{\circ}$  dan lebar daerah *slip* 0,7. Manfaat pengaruh *slip* dipengaruhi oleh rasio eksentrisitas, pada rasio eksentrisitas yang tinggi yaitu 0,9, *slip* akan merugikan. Pengaruh kekasaran permukaan dapat meningkatkan *load support* pada kondisi *no-slip* dengan kedalaman *dimple* 0.4c, panjang *dimple*  $200hd$ , panjang daerah kekasaran sebesar  $170^{\circ}$  dan lebar daerah kekasaran 0,7, namun akan memberikan efek kerugian ketika rasio eksentrisitas melebihi 0,72.

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

## **ABSTRACT**

*One of the components in the gas turbine is journal bearing. The function is to support the rotating element. It should have good reliability in order to support its working system on highest rotation and be able to obtain the work load from mechanical component. One of the main aspects on journal bearing reliability is by maintaining the lubrication performance.*

*Nowadays, some research discover that slip happened on the stream. The slip always caused to friction reduction that are capable of producing a bearing design system with low friction. There are two ways to find the phenomenon of slip such as by coating or giving the roughness effect on the surface.*

*Slip was described by Navier slip model. The model is solved by using finite volume method in which it is divided into some finite control volume and common equation that has been integrated and applied on each control volume.*

*By comparing to no-slip condition, the result show smooth surface and adding the slip effect could increase the hydrodynamic pressure. The maximum of load support was obtained when the length of slip area is  $170^\circ$  from the length of sliding contact and the width of slip zone itself is 0,7. The advantage of utilization slip was affected by eccentricity ratio in which when the value of eccentricity ratio goes to 0,9, the slip will give negative result. Meanwhile, the effect of surface roughness could increase the load support in no-slip condition with the dimple deep is  $0.4c$ , the dimple length is  $200hd$ , the roughness length around  $170^\circ$ , and the roughness width area is 0.7. But unfortunately, it will give the bad effect when the eccentricity ratio is more than 0,72.*

*Keywords: journal bearing, 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.
- ✚ Ayah dan mamah tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moril maupun material, semoga Kalian bahagia dan bangga.
- ✚ Kakak, Adik dan seluruh keluargaku tersayang, 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. Dr. Jamari, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Bapak M. Tauviquurrahman, ST., MT. dan Bapak Rifky Ismail, ST., MT. selaku dosen di LAB. EDT.
3. 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 .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
NOMENKLATUR .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metode Penulisan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Tipe <i>Journal Bearing</i> .....	7
2.2 Geometri <i>Journal Bearing</i> .....	8
2.3 Mekanisme Pelumasan .....	10
2.4 Pelumasan Hidrodinamis.....	13
2.5 Performansi Pelumasan .....	25
2.6 Fenomena <i>Slip</i> .....	27
2.6.1 Bukti-bukti Adanya <i>Slip</i> .....	27
2.6.2 Pengukuran <i>Slip</i> .....	28
2.6.3 Model-model <i>Slip</i> .....	28

2.7	Kekasaran Permukaan .....	30
2.7.1	Bentuk-bentuk Kekasaran Permukaan.....	31
2.7.2	Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap <i>Slip</i> .....	31
BAB III PEMODELAN DENGAN METODE VOLUME HINGGA .....		33
3.1	Teori Dasar Metode Volume Hingga.....	33
3.2	Formulasi Permasalahan .....	38
3.2.1	Kasus I - Permukaan <i>Smooth</i> 1 Dimensi <i>No-Slip</i> .....	38
3.2.2	Kasus II - Permukaan <i>Smooth</i> 2 Dimensi <i>No-Slip</i> ( <i>Reynolds Classic</i> ).....	39
3.2.3	Kasus III - Permukaan <i>Smooth</i> 2 Dimensi dengan <i>Slip</i> menggunakan <i>Navier Slip</i> Model .....	40
3.2.4	Kasus IV - Permukaan Kasar 2 Dimensi dengan <i>Slip</i> ..	44
3.3	Diskretisasi Persamaan Umum .....	49
3.4	<i>Flowchart</i> Pemrograman.....	52
3.4.1	<i>Flowchart</i> <i>Reynolds Classic</i> tanpa Kavitasasi .....	52
3.4.2	<i>Flowchart</i> <i>Navier Slip Model</i> dengan Kavitasasi.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		56
4.1	Data dan Spesifikasi <i>Journal Bearing</i> .....	56
4.2	Hasil Kasus I - Permukaan <i>Smooth</i> 1 Dimensi <i>No-Slip</i> .....	57
4.3	Hasil Kasus II - Kasus II - Permukaan <i>Smooth</i> 2 Dimensi <i>No-Slip</i> ( <i>Reynolds Classic</i> ) .....	58
4.4	Hasil Kasus III- Permukaan <i>Smooth</i> 2 Dimensi dengan <i>Slip</i> menggunakan <i>Navier Slip</i> Model .....	60
4.4.1	Validasi .....	60
4.4.2	Penempatan Daerah <i>Slip</i> .....	64
4.4.3	Pengaruh Panjang Daerah <i>Slip</i> .....	65
4.4.4	Pengaruh Panjang <i>Slip</i> .....	70
4.5	Hasil Kasus IV- Permukaan Kasar 2 Dimensi dengan <i>Slip</i> .....	71

BAB V PENUTUP.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran .....	78
DAFTAR PUSTAKA .....	79
LAMPIRAN.....	79
A. A.1. Penurunan Rumus Navier <i>Slip</i> 2 Dimensi – 2 <i>Slip</i> .....	82
A.2. Diskretisasi Navier <i>Slip</i> 2 Dimensi – 2 <i>Slip</i> tanpa Efek	
<i>Squeeze</i> .....	94
B. Penurunan Rumus Performansi Pelumasan.....	99
C. Kode Pemrograman pada MATLAB.....	101

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pelapisan material <i>journal bearing</i> .....	2
Gambar 1.2	<i>Roadmap</i> penelitian Lab. Perancangan Teknik dan Tribologi Divisi: <i>Numeral analysis for slip</i> .....	4
Gambar 1.3	<i>Flowchart</i> penelitian.....	5
Gambar 2.1	Jenis <i>bearing</i> , (a) <i>sliding contact bearing</i> (b) <i>roller contact bearing</i> .	7
Gambar 2.2	Notasi pada <i>journal bearing</i> .....	8
Gambar 2.3	Mekanisme menghasilkan gaya angkat .....	11
Gambar 2.4	Kondisi film daerah pelumasan .....	12
Gambar 2.5	Posisi <i>bearing</i> saat diam, permulaan awal dan operasi normal.....	13
Gambar 2.6	<i>Fluid film</i> antara dua permukaan <i>solid</i> .....	14
Gambar 2.7	Volume elemen fluida .....	15
Gambar 2.8	Kontinuitas aliran sebuah elemen.....	18
Gambar 2.9	Distribusi tekanan pada <i>journal bearing</i> .....	21
Gambar 2.10	Distribusi tekanan dengan kondisi batas Sommerfeld.....	23
Gambar 2.11	Distribusi tekanan dengan kondisi batas Gumbel .....	24
Gambar 2.12	Distribusi tekanan dengan kondisi batas Reynolds .....	24
Gambar 2.13	Interpretasi dari panjang <i>slip</i> .....	29
Gambar 3.1	(a) Pembagian <i>control volume</i> 1 dimensi .....	34
	(b) Panjang <i>control volume</i> .....	34
Gambar 3.2	Grid 2 Dimensi .....	37
Gambar 3.3	Grid 3 Dimensi .....	37
Gambar 3.4	Skema ketebalan film <i>infinite width journal bearing</i> .....	38
Gambar 3.5	Ketebalan film <i>journal bearing</i> dalam 2 dimensi.....	39
Gambar 3.6	(a) Film pelumas <i>journal bearing</i> .....	40
	(b) Pola <i>slip/no-slip</i> pada permukaan <i>housing</i> .....	40
Gambar 3.7	Bentuk <i>single texture</i> pada permukaan yang kasar .....	45
Gambar 3.8	Berbagai region validitas Reynolds terhadap persamaan Navier-Stokes .....	46
Gambar 3.9	Bentuk satu <i>cell</i> kekasaran permukaan (arah <i>circumferensial</i> ).....	47

Gambar 3.10	Pendekatan deret Fourier .....	48
Gambar 3.11	Pengaruh suku penambah $A_n$ terhadap profil kekasaran .....	48
Gambar 3.12	<i>Control volume</i> nodal P pada <i>infinite width journal bearing</i> .....	49
Gambar 3.13	<i>Flowchart</i> pemograman untuk Reynolds <i>classic</i> .....	52
Gambar 3.14	<i>Flowchart</i> pemograman untuk kondisi <i>Navier Slip</i> .....	54
Gambar 4.1	Perbandingan distribusi tekanan untuk pemodelan 1 dimensi hasil MATLAB dengan FLUENT .....	57
Gambar 4.2	(a) Distribusi tekanan kondisi batas Full Sommerfeld .....	58
	(b) Distribusi tekanan kondisi batas Half Sommerfeld .....	58
	(c) Distribusi tekanan kondisi batas Reynolds .....	59
Gambar 4.3	(a) <i>Slip</i> dengan $A = 1-100$ (b) <i>No-slip</i> $A = 0$ .....	60
Gambar 4.4	(a) Pengaruh koefisien <i>slip</i> terhadap <i>load support</i> .....	62
	(b) Pengaruh koefisien <i>slip</i> terhadap bilangan Sommerfeld.....	62
	(c) Pengaruh koefisien <i>slip</i> terhadap <i>friction force</i> .....	63
	(d) Pengaruh koefisien <i>slip</i> terhadap <i>friction coefficient</i> .....	63
Gambar 4.5	Grafik pengaruh penempatan <i>slip</i> terhadap ketebalan film.....	64
Gambar 4.6	Model dengan variasi panjang daerah <i>slip</i> .....	67
Gambar 4.7	Grafik pengaruh panjang daerah <i>slip</i> terhadap ketebalan.....	68
Gambar 4.8	Grafik pengaruh panjang daerah <i>slip</i> terhadap <i>power loss</i> .....	68
Gambar 4.9	Grafik pengaruh panjang <i>slip</i> terhadap ketebalan film.....	70
Gambar 4.10	Grafik pengaruh panjang <i>slip</i> terhadap <i>power loss</i> .....	70
Gambar 4.11	Model dengan pemvariasian lebar daerah tekstur (a) Kekasaran permukaan arah <i>circumferensial</i> .....	72
	(b) Kekasaran permukaan arah aksial.....	72
Gambar 4.12	Grafik pengaruh lebar daerah tekstur terhadap bilangan Sommerfeld pada rasio eksentrisitas = 0 .....	73
Gambar 4.13	Grafik pengaruh lebar daerah tekstur terhadap bilangan Sommerfeld pada rasio eksentrisitas = 0.6 .....	73
Gambar 4.14	Model daerah untuk mengetahui <i>limit</i> manfaat pemberian <i>slip</i> /kekasaran .....	75

Gambar 4.15	Grafik pengaruh rasio eksentrisitas terhadap <i>load support</i> (W) pada berbagai model .....	76
Gambar 4.16	Grafik pengaruh rasio eksentrisitas terhadap <i>power loss</i> (Pl) pada berbagai model .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik daerah pelumasan .....	12
Tabel 2.2	Pemilihan viskositas <i>journal bearing</i> dengan standar ISO (satuan cSt) .....	26
Tabel 2.3	Macam-macam bentuk kekasaran permukaan .....	31
Tabel 3.1	Diskretisasi persamaan umum semua kasus.....	51
Tabel 4.1	Tabel pengaruh kondisi batas terhadap <i>load support</i> .....	59
Tabel 4.2	Nilai Sommerfeld terkecil semua model pada $\varepsilon = 0$ .....	74
Tabel 4.3	Nilai Sommerfeld terkecil semua model pada $\varepsilon = 0,6$ .....	74
Tabel 4.4	Tabel <i>limit</i> pengaruh rasio eksentrisitas terhadap <i>load support</i> (W) pada berbagai model.....	77



## NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
$\alpha$	Konstanta <i>slip</i>	[m/Pas]
$\lambda$	<i>Aspect ratio</i>	[-]
$\mu$	Viskositas	[Pas]
$\sigma$	Gaya normal fluida	[Pa]
$\tau$	Gaya geser fluida	[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]
$V$	Kecepatan permukaan arah $y$	[m/s]
$W$	<i>Load support capacity</i>	[N]
$h$	Ketebalan <i>fluid film</i>	[m]
$h_D$	Kedalaman <i>dimple</i>	[m]
$l_D$	Panjang <i>dimple</i>	[m]
$q$	Debit aliran	[m <sup>3</sup> /s]
$u$	Kecepatan fluida arah $x$	[m/s]