

LAPORAN TUGAS AKHIR

PREDIKSI KEAUSAN *PIN*

PADA *PIN-ON-DISC SLIDING CONTACT SYSTEM*

MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Diajukan sebagai salah satu tugas dan syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1)
jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro



Disusun oleh:
ADIB ZAKARIYA
L2E307001

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Adib Zakariya

NIM : L2E 307001

Pembimbing : 1. Dr. Jamari, ST, MT.
2. -

Jangka Waktu : 11 (Sebelas) bulan

Judul : Prediksi Keausan *Pin* pada *Pin-On-Disc Sliding Contact System*
Menggunakan Metode Elemen Hingga

Isi Tugas :

1. Memprediksi laju keausan yang terjadi pada simulasi kontak *sliding* antara pin dengan disk menggunakan Metode Elemen Hingga.
2. Membandingkan model keausan menggunakan *FEM* dengan model-model keausan yang ada sebelumnya.

Dosen Pembimbing,

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “**Prediksi Keausan Pin pada Pin-On-Disc Sliding Contact System Menggunakan Metode Elemen Hingga**” telah disetujui pada:

Hari :

Tanggal :

Dosen Pembimbing,

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

Mengetahui,
Koordinator Tugas Sarjana

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT.
NIP. 197 104 211 999 031 003

ABSTRAK

Keausan komponen merupakan faktor utama yang mempengaruhi umur pakai produk, maka dari itu prediksi keausan merupakan bagian yang sangat penting dari proses *engineering*. Simulasi keausan dapat didekati dengan model-model mekanistik (*mechanistic models*) dan model-model pendekatan (*phenomological models*). Model-model mekanistik didasarkan pada mekanisme kegagalan bahan, sedangkan model pendekatan sering kali melibatkan perhitungan-perhitungan memakai prinsip mekanika kontak.

Model pendekatan menggunakan *commercial finite element software ANSYS* disajikan dalam Tugas Akhir ini. Pemodelan dan prosedur simulasi telah diusulkan menggunakan hukum keausan linear dan skema integrasi Euler. Hukum keausan Archard dipakai sebagai kalkulasi tambahan setelah analisa dengan *Finite Element Method (FEM)*.

Pada penelitian ini simulasi dimodelkan sebagai kontak statis *pin-on-disc* material *Silicon Nitride* (S_iN_4) tanpa pelumasan dengan asumsi material elastis. Hasil prediksi keausan dengan *FEM* diverifikasi dengan hasil prediksi keausan Hegadekatte. Laju keausan dihitung sebagai fungsi dari jarak *sliding*. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai keausan meningkat seiring bertambahnya jarak *sliding*, tetapi laju perubahan keausan menurun dikarenakan meningkatnya *contact area*.

Kata kunci: Simulasi keausan, analisa tegangan kontak, *updating geometry*.

ABSTRACT

Wear of components is a critical factor that influence the product service life, so wear prediction is an important part from the engineering process. Wear simulation can be conducted by mechanistic models and phenomological models. The mechanistic models are based on material failure mechanism, while the phenomological models often involve calculations using princyple of contact mechanics.

The phenomological, model which uses a commercial finite element software ANSYS, is presented in this report. Modeling and simulation procedures are proposed with the linear wear law and Euler integration schemes. The Archard's wear law is used as additional calculation after analysing with Finite Element Method (FEM).

The simulation is modeled as a pin-on-disc unlubricated static contact. An elastic Silicone Nitride (S_iN_4) material is used in the present study. Results of FEM are compared with Hegadekatte results. Wear rate is calculated as a function of sliding distance. The results show that the wear depth increases as the increasing of sliding distance, but the wear rate decreases due to the increasing of contact area.

Key words: Wear simulation, contact stress analysis, updating geometry.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Thanks to:

- * Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya.
- * Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan doa serta dukungan baik moril maupun material yang tak bisa aku tuk membalasnya.
- * Kakak dan Adikku tersayang atas dukungannya.
- * Pak Jamari, Pak Rifki, Pak Taufiq, dan Mbak Nur, terimakasih banyak atas semua bimbingan dan bantuannya.
- * Temen-temen seperjuangan Lab. EDT, Tribology forever.
- * Sobat-sobat Teknik Mesin Ex-'07, atas supportnya.
- * Semua Temen-temenku yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu-persatu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat 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. Dr. Jamari, ST, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Bapak dan Ibu yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat.
3. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar T.K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
4. Teman-teman seperjuangan di Lab. EDT.
5. Teman-teman Teknik Mesin UNDIP X-2007 atas semangat dan kerjasamanya.
6. Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan Tugas Akhir 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. Akhir kata Penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, 14 Februari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
NOMENKLATUR	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TEORI KEAUSAN	
2.1 Teori Kontak Hertz	6
2.2 Keausan (<i>Wear</i>)	8
2.3 Pemodelan Keausan	13
1.3.1 Model Keausan Mekanistik	13
1.3.2 Model Pendekatan	14
BAB III METODE-METODE PREDIKSI KEAUSAN	
3.1 Metode Eksperimen	17
3.1.1 Prosedur Eksperimen	17
3.1.2 Hasil Eksperimen Podra	18

3.2	Simulasi Keausan Podra.....	20
3.2.1	Prosedur Simulasi Menggunakan <i>FEM</i>	20
3.2.2	Model Elemen Hingga 2D.....	22
3.2.3	Hasil Simulasi Podra	23
3.3	<i>Global Incremental Wear Model (GIWM)</i> Hegadekatte	24
3.3.1	Prosedur Analitik GIWM	24
3.3.2	Pengaruh Deformasi Elastis pada Perhitungan Keausan	27

BAB IV PEMODELAN KEAUSAN DENGAN *FINITE ELEMENT METHOD*

4.1.	Teori dasar FEM	29
4.1.1.	Konsep Dasar Analisa <i>FEM</i>	29
4.1.2.	<i>Quadratic Quadrilateral Element</i>	
4.2.	Metodologi Pemodelan	32
4.3.	Spesifikasi Masalah.....	34
4.4.	Pemodelan <i>FEM</i>	35
4.4.1.	Prosedur Simulasi <i>FEM</i>	35
4.4.2.	Pembacaan Hasil Simulasi	38
4.5.	Menghitung Tinggi Keausan.....	39
4.5.1.	Menentukan Kenaikan Jarak <i>Sliding</i>	39
4.5.2.	Menghitung Perubahan Keausan.....	40
4.6.	<i>Updating Geometry</i>	40
4.7.	Mengulang Iterasi <i>FEM</i>	41

BAB V ANALISA HASIL

5.1.	Verifikasi.....	42
5.2.	Verifikasi Awal Pendekatan Keausan dengan <i>FEM</i>	43
5.3.	Hasil Prediksi Keausan dengan <i>FEM</i>	45

BAB VI PENUTUP	
6.1. Kesimpulan	49
6.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Komponen-komponen permesinan, (a) <i>ball bearing</i> , (b) <i>connecting rod</i> dengan <i>pin</i> , (c) katup	1
Gambar 1.2	Permukaan komponen mesin.....	2
Gambar 1.3	<i>Flow chart</i> penelitian	4
Gambar 2.1	Contoh-contoh kontak, (a) <i>sphere vs plane</i> , (b) <i>sphere vs spere</i> , (c) <i>cylinder vs cylinder</i>	6
Gambar 2.2	<i>Abrasive wear</i> oleh <i>microcutting</i> pada permukaan yang lentur.....	8
Gambar 2.3	Mekanisme pada <i>abrasive wear</i> : (a) <i>microcutting</i> , (b) <i>fracture</i> , (c) <i>fatigue</i> , dan (d) <i>grain pull-out</i>	9
Gambar 2.4	<i>Adhesive wear</i> karena <i>adhesive shear and transfer</i>	9
Gambar 2.5	Proses perpindahan logam karena <i>adhesive wear</i>	9
Gambar 2.6	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis (<i>plastic shear flow</i>).....	10
Gambar 2.7	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat	10
Gambar 2.8	Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan, (a) permulaan retak sebagai hasil dari proses fatik, (b) retak primer merambat sepanjang bidang slip, (c) retak tambahan dari permulaan retak, (d) tambahan retak merambat dan terbentuk partikel keausan.....	10
Gambar 2.9	Partikel keausan pada aus lelah (<i>fatigue wear</i>) (a) proses terbentuknya partikel keausan, (b) contoh partikel keausan	
Gambar 2.10	<i>Corrosive wear</i> karena patah geser pada lapisan lentur	11
Gambar 2.11	<i>Corrosive wear</i> karena pengelupasan pada lapisan yang rapuh.....	12
Gambar 3.1	Skema pengujian <i>pin-on-disc sliding system</i> Podra	18

Gambar 3.2	Data hasil percobaan <i>pin-on-disc</i> untuk baja dibandingkan fungsi jarak <i>sliding</i> , (a) kedalaman keausan pin, (b) koefisien gesek, (c) tekanan kontak normal dan koefisien keausan, (d) <i>contact flash temperatures</i>	19
Gambar 3.3	<i>Flow chart</i> pendekatan simulasi keausan Podra.....	21
Gambar 3.4	(a) Kontak pin dengan disk, (b) struktur model <i>FE</i>	23
Gambar 3.5	(a) Diagram alir GIWM untuk menghitung keausan pin, dan (b) penghitungan jari-jari kontak.....	25
Gambar 4.1	Elemen <i>Quadratic Quadrilateral</i>	31
Gambar 4.2	Diagram alir untuk simulasi keausan <i>FEM</i>	33
Gambar 4.3	(a) Gambar percobaan <i>pin-on-disc</i> , (b) diagram pembebanan kontak pin pada disk dengan gaya F_N	35
Gambar 4.4	(a) Model yang disederhanakan menjadi 2D, (b) model diambil daerah kontak yang terpengaruh tegangan akibat kontak, (c) pemodelan dalam <i>FEM</i>	36
Gambar 4.5	Contoh penentuan kondisi batas dan pembebanan.....	37
Gambar 4.6	Kontur tegangan kontak arah y di <i>FEM</i>	38
Gambar 4.7	Contoh data nilai <i>contact pressure</i> tiap nodal.	38
Gambar 4.8	Nilai keausan maksimum yang diijinkan	40
Gambar 4.9	(a) Cara melakukan <i>Update Geometry</i> , (b) bentuk pin setelah diubah.	41
Gambar 5.1	Grafik keausan terhadap jarak <i>sliding</i> dengan beban 21 N.	42
Gambar 5.2	Grafik keausan terhadap jarak <i>sliding</i> dengan beban 50 N.....	43
Gambar 5.3	Kontur tegangan kontak arah sumbu y pada <i>FEM</i>	44
Gambar 5.4	Grafik tegangan kontak terhadap jari-jari kontak.....	44
Gambar 5.5	Grafik tinggi keausan terhadap jarak <i>sliding</i>	45
Gambar 5.6	Grafik tegangan kontak normal terhadap jari-jari kontak pada beberapa jarak <i>sliding</i>	46

Gambar 5.7	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $S = 0$ mm	46
Gambar 5.8	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $S = 0$ mm	47
Gambar 5.9	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $S = 11,20$ mm	47
Gambar 5.10	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $S = 11,20$ mm	47
Gambar 5.11	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $S = 66,87$ mm	48
Gambar 5.12	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $S = 66,87$ mm	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai koefisien keausan untuk beberapa material.....	34
-----------	--	----

NOMENKLATUR

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
A	luas permukaan kontak	$[\text{mm}^2]$
a	jari-jari permukaan bidang kontak	$[\text{mm}]$
E	modulus elastisitas	$[\text{MPa}]$
E^*	modulus elastisitas efektif	$[\text{MPa}]$
F_N	gaya normal (<i>normal load</i>)	$[\text{N}]$
H	kekerasan bahan (<i>hardness</i>)	$[\text{MPa}]$
HV	kekerasan Vicker	$[\text{MPa}]$
h	kedalaman keausan	$[\text{mm}]$
K	koefisien keausan takberdimensi	$[-]$
k_D	koefisien keausan berdimensi	$[\text{mm}^3/\text{Nmm}]$
KN	kekakuan kontak	$[\text{N}/\text{mm}]$
p_0	tegangan kontak maksimum	$[\text{MPa}]$
p	tegangan kontak normal	$[\text{MPa}]$
R	jari-jari efektif	$[\text{mm}]$
s	Jarak <i>sliding</i>	$[\text{mm}]$
V	volume keausan	$[\text{mm}^3]$
x, y	koordinat kartesius	$[\text{mm}]$
ν	<i>Poisson's ratio</i>	$[-]$
μ	koefisien gesek	$[-]$

Subscripts dan superscripts

d	disk
p	pin
i	tahap kenaikan keausan
max	maksimum
w	keausan
e	elastis