

LAPORAN TUGAS AKHIR

PREDIKSI KEAUSAN KONTAK ANTARA
***STATIONARY PIVOT* DAN *PIN JOINT* 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:

DIMAS NOVA SETIAWAN
L2E 307014

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Dimas Nova Setiawan

NIM : L2E 307014

Pembimbing : 1. Ir. Sugiyanto, DEA.
2. -

Jangka Waktu : 12 (Dua belas) bulan

Judul : Prediksi Keausan Kontak antara *Stationary Pivot* dan *Pin Joint*
Menggunakan Metode Elemen Hingga

Isi Tugas :

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

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA.
NIP. 196 001 251 987 031 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “**Prediksi Keausan Kontak antara *Stationary Pivot* dan *Pin Joint* Menggunakan Metode Elemen Hingga**” yang disusun oleh:

Nama : Dimas Nova Setiawan

Nim : L2E 307014

telah disetujui pada:

Hari :

Tanggal :

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA.
NIP. 196 001 251 987 031 001

Mengetahui,
Koordinator Tugas Sarjana

Pembantu Dekan I,

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

Ir. Bambang Pudjianto, MT
NIP. 195 212 051 985 031 001

ABSTRAK

Keausan merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap umur pemakaian beberapa komponen yang saling bersinggungan (kontak) dalam suatu permesinan. Dalam ilmu perancangan faktor keausan perlu sekali untuk dipertimbangkan karena menyangkut sebuah desain yang menuntut agar umur pemakaiannya bertahan lama. Sedikitnya ada tiga jenis keausan berdasarkan penyebabnya, yaitu *mechanical*, *chemical and thermal*. Salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh *mechanical* adalah keausan yang terjadi karena sistem kontak *sliding*.

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-conforming* dan *pin-on-plate* material *steel on steel* tanpa pelumasan dengan asumsi material elastis. Hasil prediksi keausan *FEM* diverifikasi dengan hasil prediksi keausan Saad Mukras. 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: Keausan, area kontak, metode elemen hingga, jarak sliding.

ABSTRACT

Wear is one of the important factors affected on the lifetime of some contacted components in machinery. In the design engineering wear factor is very important to be considered because of its correlation to a design for the long lifetime. There are three types of causal wear away; mechanical, chemical and thermal. One of the type which caused by mechanical is a wear away that happened because of sliding contact system.

In this thesis, a commercial finite element software ANSYS is used. Modeling and simulation procedures are proposed with the linear wear law and Euler integration schemes. The Archard's wear principle was used as an additional calculation beside Finite Element Method (FEM) analysis.

The simulation was modeled as a pin-on-conforming and pin-on-flate static contact and also elasticity steel on steel material without lubrication as elasticity material assumption in this study. The prediction results of FEM were being verified with Saad Mukras' prediction results. Wear rate was calculated as a function of sliding distance. The results showed that the wear rate increases as the increasing of sliding distance, however, the wear rate decreases due to the increasing of contact area.

Key word: Wear, contact area, finite element method, sliding distance.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Terima kasih untuk:

- * Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa mencurahkan Kasih dan Anugrah-Nya.
- * Mama dan Papa tercinta yang selalu memberikan doa serta dukungan baik moril maupun material yang tak bisa aku tuk membalasnya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan kasih dan anugrah-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 motifasi, arahan dan bimbingan. Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ir. Sugiyanto, DEA, selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Dr. Jamari, ST, MT, selaku kepala Lab. EDT yang telah memberikan fasilitasnya dalam menyelesaikan Tugas Sarjana.
3. 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, 1 April 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	xv
NOMENKLATUR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TEORI KEAUSAN	
2.1 Teori Kontak Hertz.....	6
2.2 Teori Keausan, Jenis-Jenis Keausan dan Penyebabnya	11
2.2.1 Keausan Yang Disebabkan Perilaku Mekanis (<i>mechanical</i>)	11
2.2.2 Keausan Yang Disebabkan Perilaku Kimia.....	14
2.2.3 Keausan Yang Disebabkan Perilaku Panas (<i>thermal wear</i>)	15

BAB III METODE-METODE PREDIKSI KEAUSAN

3.1	Metode Prediksi Simulasi Keausan Saad Mukras	17
3.1.1	<i>Step-Updating Procedure</i> Pada Prediksi Simulasi Keausan Saad Mukras.....	20
3.1.2	<i>Intermediate Cycle-Update Procedure</i> Pada Prediksi Simulasi Keausan Saad Mukras	21
3.1.3	<i>Parallel Implementation of the Intermediate Cycle-Update Procedure</i> Pada Prediksi Simulasi Keausan Saad Mukras	23
3.2	Metode Prediksi Keausan Hegadekatte <i>Global Incremental Wear Model</i>	24
3.2.1	Prosedur Analitik GIWM	25
3.2.2	Pengaruh Deformasi Elastis Pada Perhitungan Keausan.....	27
3.3	Metode Keausan Archard	30
3.4	Metode Keausan Sarkar.....	32

BAB IV PEMODELAN KEAUSAN DENGAN *FINITE ELEMENT METHOD*

4.1.	Teori Dasar Metode Elemen Hingga.....	33
4.1.1.	Konsep Dasar Analisis Metode Elemen Hingga	34
4.1.2.	Konsep Dasar Pemahaman Metode Elemen Hingga ..	38
4.2.	Metodologi Pemodelan.....	44
4.3.	Spesifikasi Masalah	46
4.4.	Pemodelan <i>FEM</i>	48
4.4.1.	Prosedur Simulasi <i>FEM</i>	48
4.4.2.	Pembacaan Hasil Simulasi.....	49
4.5.	Menghitung Kedalaman Keausan.....	51
4.5.1.	Menentukan Kenaikan Jarak <i>Sliding</i>	52
4.5.2.	Menghitung Perubahan Keausan	53
4.6.	<i>Updating Geometry</i>	53
4.7.	Mengulang Iterasi <i>FEM</i>	55

BAB V	HASIL DAN ANALISA	
5.1.	Verifikasi	56
5.2.	Verifikasi Awal Pendekatan Keausan dengan <i>FEM</i>	57
5.3.	Hasil Prediksi Keausan dengan <i>FEM</i>	59
BAB VI	PENUTUP	
6.1.	Kesimpulan.....	67
6.2.	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....		68
LAMPIRAN-LAMPIRAN		71
1.	Jurnal Saad Mukras	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen-komponen permesinan yang saling kontak, (a) <i>slider-crank mechanisms</i> , (b) <i>cam shaft</i> dengan <i>rocker arm</i> , (c) <i>connecting rod</i> dengan <i>pin</i> , (d) <i>conforming block-on-ring test</i>	1
Gambar 1.2	<i>Flow chart</i> penelitian	4
Gambar 2.1	Kontak titik (<i>point contact</i>).....	6
Gambar 2.2	Kontak garis (<i>line contact</i>)	8
Gambar 2.3	Kontak ellips (<i>elliptical contact</i>)	9
Gambar 2.4	<i>Abrasive wear</i> oleh <i>microcutting</i> pada permukaan yang lunak. 11	11
Gambar 2.5	Mekanisme pada <i>abrasive wear</i> : a) <i>microcutting</i> , b) <i>fracture</i> , c) <i>fatigue</i> and d) <i>grain pull-out</i>	12
Gambar 2.6	<i>Adhesive wear</i> karena <i>adhesive shear and transfer</i>	12
Gambar 2.7	Proses perpindahan logam karena <i>adhesive wear</i>	12
Gambar 2.8	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis	13
Gambar 2.9	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat	13
Gambar 2.10	Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan	14
Gambar 2.11	<i>Corrosive wear</i> karena patah geser pada lapisan lentur	15
Gambar 2.12	<i>Corrosive wear</i> karena pengelupasan yang terjadi pada lapisan yang rapuh.....	15
Gambar 2.13	Diagram macam-macam keausan yang utama.....	16
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i> secara garis besar untuk pendekatan simulasi keausan Saad Mukras.....	18
Gambar 3.2	<i>Flow chart</i> simulasi keausan untuk <i>step update procedure</i>	21
Gambar 3.3	<i>Flow chart</i> simulasi keausan untuk <i>cycle-update procedure</i>	22
Gambar 3.4	<i>Flow chart</i> simulasi keausan untuk <i>intermediate cycle-update procedure</i>	23
Gambar 3.5	<i>Flow chart</i> simulasi keausan untuk <i>parallel implementation of the intermediate cycle-update procedure</i>	24

Gambar 3.6	(a) Diagram alir GIWM untuk menghitung keausan pin, dan (b) penghitungan jari-jari kontak	25
Gambar 4.1	Elemen garis	35
Gambar 4.2	Elemen bidang	35
Gambar 4.3	Elemen volume	36
Gambar 4.4	Diagram benda bebas dari elemen pegas linier	36
Gambar 4.5	Perbandingan regangan atau <i>strain</i> antara regangan transversal dengan regangan aksial	40
Gambar 4.6	Grafik tegangan dan regangan	40
Gambar 4.7	Grafik tegangan dan regangan yang menunjukkan tangen modulus.....	41
Gambar 4.8	<i>Plane Strain</i> yang merupakan regangan bidang	43
Gambar 4.9	<i>Plane Strain</i> yang merupakan tegangan bidang	43
Gambar 4.10	Diagram alir untuk simulasi keausan <i>FEM</i>	45
Gambar 4.11	(a) <i>Pin</i> dan <i>Pivot Joint</i> dengan gerak relative <i>Oscillatory</i> Saad Mukras, (b) <i>pin-on-conforming</i> , (c) <i>pin-on-plate</i>	47
Gambar 4.12	Contoh penentuan kondisi batas dan pembebanan (a) <i>pin-on-</i> <i>conforming</i> , (b) <i>pin-on-plate</i>	49
Gambar 4.13	Kontur tegangan kontak arah <i>y</i> di <i>FEM</i> (a) <i>pin-on-conforming</i> , (b) <i>pin-on-plate</i>	50
Gambar 4.14	Contoh data nilai <i>contact pressure</i> tiap nodal (a) <i>pin-on-</i> <i>conforming</i> , (b) <i>pin-on-plate</i>	51
Gambar 4.15	Nilai keausan maksimum yang diijinkan.....	52
Gambar 4.16	<i>Pin-on-Conforming</i> (a) Cara melakukan <i>Update Geometry</i> , (b) bentuk pin setelah diubah.....	54
Gambar 4.17	Nilai <i>Pin-on-Plate</i> (a) Cara melakukan <i>Update Geometry</i> , (b) bentuk pin setelah diubah.....	54
Gambar 5.1	Keausan maximum antara <i>pin</i> dan <i>pivot</i> dengan beban $F_N =$ 150 N.....	56
Gambar 5.2	Kontur tegangan kontak arah sumbu <i>y</i> pada <i>FEM</i> <i>pin-on-conforming</i>	57

Gambar 5.3	Kontur tegangan kontak arah sumbu y pada <i>FEM pin-on-plate</i>	58
Gambar 5.4	Grafik tegangan kontak terhadap jari-jari kontak <i>pin-on-conforming</i> dan <i>pin-on-plate</i>	58
Gambar 5.5	Grafik kedalaman keausan terhadap jarak <i>sliding</i>	59
Gambar 5.6	Grafik tegangan kontak normal terhadap jari-jari kontak <i>pin-on-conforming</i> pada beberapa jarak <i>sliding</i>	60
Gambar 5.7	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 0$ mm <i>pin-on-conforming</i>	60
Gambar 5.8	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 0$ mm <i>pin-on-conforming</i>	61
Gambar 5.9	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 81512,15$ mm <i>pin-on-conforming</i>	61
Gambar 5.10	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 81512,15$ mm <i>pin-on-conforming</i>	61
Gambar 5.11	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 183722,55$ mm <i>pin-on-conforming</i>	62
Gambar 5.12	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 183722,55$ mm <i>pin-on-conforming</i>	62
Gambar 5.13	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 297010,53$ mm <i>pin-on-conforming</i>	62
Gambar 5.14	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 297010,53$ mm <i>pin-on-conforming</i>	63
Gambar 5.15	Grafik tegangan kontak normal terhadap jari-jari kontak <i>pin-on-plate</i> pada beberapa jarak <i>sliding</i>	63
Gambar 5.16	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 0$ mm <i>pin-on-plate</i>	64
Gambar 5.17	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 0$ mm <i>pin-on-plate</i>	64
Gambar 5.18	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 61006,75$ mm <i>pin-on-plate</i>	64
Gambar 5.19	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 61006,75$ mm <i>pin-on-plate</i>	65
Gambar 5.20	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 192978,88$ mm <i>pin-on-plate</i>	65
Gambar 5.21	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 192978,88$ mm <i>pin-on-plate</i>	65
Gambar 5.22	Kontur <i>Von Mises stress</i> untuk $s = 301888,18$ mm <i>pin-on-plate</i>	66
Gambar 5.23	Kontur <i>stress</i> arah y (S_y) untuk $s = 301888,18$ mm <i>pin-on-plate</i>	66

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Parameter-parameter untuk geometri <i>pin-on-conforming</i> dan <i>pin-on-plate</i>	46
-----------	---	----

NOMENKLATUR

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
A	luas permukaan kontak	[mm ²]
A_j	faktor extrapolasi pada siklus j^{th}	[-]
b	jari-jari permukaan bidang kontak	[mm]
E	modulus elastisitas	[MPa]
E^*	modulus elastisitas efektif	[MPa]
F_N	gaya normal (<i>normal load</i>)	[N]
H	kekerasan bahan (<i>hardness</i>)	[MPa]
h	kedalaman keausan	[mm]
K	koefisien keausan takberdimensi	[-]
k_D	koefisien keausan berdimensi	[mm ³ /Nmm]
p_0	tegangan kontak maksimum	[MPa]
p	tegangan kontak normal	[MPa]
R	jari-jari efektif	[mm]
s	jarak <i>sliding</i>	[mm]
V	volume keausan	[mm ³]
x, y	koordinat kartesius	[mm]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
μ	koefisien gesek	[-]

Subscripts dan superscripts

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