



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA PADA KONTAK
*ROLLING-SLIDING***

TUGAS AKHIR

**AHMAD KHOIRONI
L2E 007 009**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
DESEMBER 2011**

TUGAS AKHIR

Diberikan kepada:

Nama : Ahmad Khoironi

NIM : L2E 007 009

Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA

Jangka Waktu : 9 (sembilan) bulan

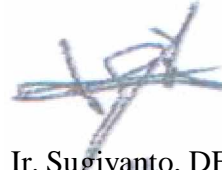
Judul : **Pemodelan Metode Elemen Hingga pada Kontak *Rolling-Sliding***

Isi Tugas :

1. Analisa tinggi keausan yang terjadi pada simulasi kontak *rolling-sliding* antara *disc* 1 dengan *disc* 2.
2. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan model lain.

Semarang, Desember 2011

Dosen Pembimbing,



Ir. Sugiyanto, DEA

NIP. 196 001 251 987 031 001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ahmad Khoironi

NIM : L2E 007 009

Tanda Tangan :



Tanggal : Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Khoironi

NIM : L2E 007 009

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : *Pemodelan Metode Elemen Hingga pada Kontak Rolling-Sliding*

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.

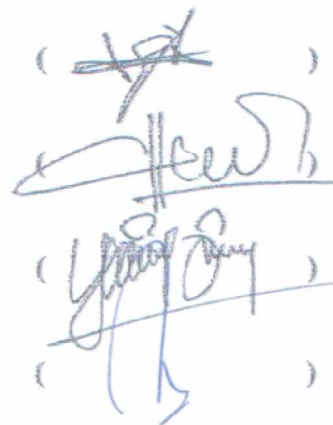
TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA

Penguji : Muchammad, ST, MT

Penguji : Yusuf Umardhani, ST, MT

Penguji : Dr. Ir. Eflita Yohana, MT



Semarang, Desember 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : AHMAD KHOIRONI
NIM : L2E 007 009
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

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 :

PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA PADA KONTAK *ROLLING-SLIDING*

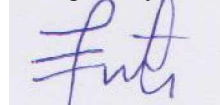
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Desember 2011

Yang menyatakan



Ahmad Khoironi

NIM. L2E 007 009

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Selalu berusaha keras dan sepenuh hati untuk mencapai hasil yang maksimal”

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ¶ Orang tua saya tercinta, Bapak Masran dan Ibu Syafi'ah yang selalu memberikan do'a, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
- ¶ Kakak saya tersayang Ahmad Shofiq dan Sholikhatun atas dukungannya.

ABSTRAK

Keausan merupakan salah satu fenomena yang mempunyai peranan penting terhadap umur pemakaian dari komponen permesinan. Keausan dalam ilmu perancangan teknik, perlu sekali untuk dipertimbangkan karena ada kaitannya dengan hilangnya material. Perancangan teknik yang baik dari komponen permesinan akan mengurangi keausan, mengurangi hilangnya energi, dan memperpanjang umur pemakaian. Sedikitnya ada tiga jenis keausan: *mechanical*, *chemical* dan *thermal*. Sistem kontak *rolling-sliding* dalam *Tribometer*, yaitu pengujian “*twin-disc*” yang merupakan salah satu contoh jenis keausan mekanik. *Tribometer* yang sering digunakan untuk prediksi keausan tetapi diperlukan pengujian, waktu dan biaya yang relatif tidak sedikit. Oleh karena itu, sangat perlu untuk prediksi keausan dengan metode lain, antara lain metode analitik maupun metode elemen hingga.

Prediksi keausan *rolling-sliding* dengan menggunakan metode elemen hingga disajikan dalam pemodelan tiga dimensi (3D). Pada penelitian ini ditunjukkan hasil menggunakan metode elemen hingga dalam prediksi keausan *rolling-sliding*. Metode perhitungan keausan ini menggunakan dua cara *update geometry*, yaitu metode *update geometry* dipotong dan *update geometry* dijepit. Hasil menggunakan *update geometry* dipotong pada *load* 300 N dengan *slip* 10% setelah mencapai 500 rotasi diperoleh perbandingan *FEM Present* dan GIWM terdapat perbedaan rata-rata sekitar 1,24%, perbandingan *FEM Kanavalli* dan *FEM Present* terdapat perbedaan rata-rata sekitar 10,41%. Hasil menggunakan *update geometry* dijepit pada *load* 300 N dengan *slip* 10% setelah mencapai 5000 rotasi diperoleh perbandingan *FEM Present* dan GIWM terdapat perbedaan rata-rata sekitar 20,13%, perbandingan *FEM Kanavalli* dan *FEM Present* terdapat perbedaan rata-rata sekitar 32,42%.

Kata kunci: *rolling-sliding contact*, *twin-disc tribometer*, metode elemen hingga *update geometry*.

ABSTRACT

Wear is one of the phenomena which plays important role in the life time designing of the mechanical component. Wear, in engineering design, should be considered due to its relation in material loss. The better engineering design of the mechanical component will reduce wear, results the lower energy loss, and prolong the component life time. There are three types of wear: mechanical, chemical and thermal. Rolling-sliding contact system in tribometer, i.e. twin-disc test, is one of the examples of the mechanical wear. Tribometer to conduct an experiment in wear prediction but this experimental research requires a large number of experiments, time and costs. Therefore, finite element and analytical solution should be the more commonly used approach to predict the wear behavior of a pair of materials.

Rolling-sliding wear prediction using the finite element method is presented in the modeling of three-dimensional (3D). In this study demonstrated results using the finite element method in the prediction of rolling-sliding wear. Wear calculation method uses a two-way update geometry, ie geometry update method updates geometry is cut and clamped. The results using the updated geometry is cut at load 300 N to slip 10% to 5000 cycle obtained after comparison of FEM Present and GIWM there are differences average about 1,24%, comparison of FEM and FEM Kanavalli Present there are differences average about 10,41%. The results using the updated geometry clamped at load 300 N with a slip of 10% after reaching the 5000 cycle is obtained comparative FEM GIWM Present and there are differences in average about 20,13%, comparison of FEM and FEM Kanavalli Present there are differences average about 32,42%.

Key words: rolling-sliding contact twin-disc tribometer, the finite element method update geometry.

KATA PENGANTAR

Rasa Syukur dan terima kasih kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam. Berkat, rahmat dan karunia-Nya, yang telah memberikan kekuatan dan kemampuan bagi Penulis untuk dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir berjudul “Pemodelan Metode Elemen Hingga pada Kontak *Rolling-Sliding*” yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar T.K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Ir. Sugiyanto, DEA dan Bapak Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana yang telah begitu banyak memberikan pengarahan, masukan, nasihat, kesempatan dan berbagai nilai-nilai positif kepada Penulis.
3. Bapak Rifky dan Bapak Tauviq terimakasih banyak atas bimbingan dan bantuannya.
4. Yanto Ahmad Nurdiansyah sebagai rekan Tugas Akhir atas kerja sama dan bantuannya.
5. Teman-teman seperjuangan Lab. EDT (*Laboratory for Engineering Design and Tribology*) dan semua teman-teman Angkatan 2007.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangannya dan masih jauh dari sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan dari penyusun laporan ini sangat kami harapkan. Semoga hasil-hasil yang dituangkan dalam laporan ini bermanfaat bagi siapa saja yang memerlukannya.

Akhirnya Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua. Amin.

Semarang, Desember 2011

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
NOMENKLATUR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Tujuan penulisan.....	3
1.3. Batasan masalah.....	4
1.4. Metode penelitian	4
1.5. Sistematika penulisan	5
BAB II TEORI KEAUSAN	6
2.1. Pengertian keausan	6
2.2. Jenis-jenis keausan dan penyebabnya.....	6
2.2.1. Keausan yang disebabkan perilaku mekanis	6
1. <i>Abrasive wear</i>	6
2. <i>Adhesive wear</i>	7
3. <i>Flow wear</i>	8
4. <i>Fatigue wear</i>	8

2.2.2.	Keausan yang disebabkan perilaku kimia.....	10
1.	<i>Oxidative wear</i>	10
2.	<i>Corrosive wear</i>	11
2.2.3.	Keausan yang disebabkan perilaku panas.....	11
1.	<i>Melt wear</i>	11
2.	<i>Diffusive wear</i>	11
2.3.	Teori <i>sliding, rolling</i> dan <i>rolling-sliding contact</i>	12
2.3.1.	Teori <i>sliding contact</i>	12
2.3.2.	Teori <i>rolling contact</i>	13
2.3.3.	Teori <i>rolling-sliding contact</i>	13
BAB III MODEL-MODEL KEAUSAN		15
3.1.	Model keausan Archard.....	15
3.2.	Model keausan Sarkar	16
3.3.	Metode prediksi keausan Podra	16
3.4.	Metode prediksi keausan Anderson.....	18
3.5.	Metode prediksi keausan Hegadekatte	22
3.5.1.	Metode analitik	22
3.5.2.	Metode elemen hingga.....	23
3.6.	Metode prediksi keausan Kanavalli.....	23
3.7.	Metode prediksi keausan Rodrigues.....	26
3.8.	Ringkasan	26
BAB IV PERHITUNGAN KEAUSAN.....		29
4.1	Metode elemen hingga	29
4.2	Teori dasar metode elemen hingga.....	29
4.3	Metodologi pemodelan.....	31
4.4	Spresifikasi pemodelan <i>twin-disc</i>	34
4.5	Menentukan jarak <i>sliding</i>	34
4.6	Prosedur pembuatan model <i>twin-disc</i>	36
4.7	<i>Update geometry</i>	49

4.7.1	<i>Update geometry</i> dipotong.....	50
4.7.2	<i>Update geometry</i> dijepit.....	51
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	64
5.1	Hasil metode analitik.....	64
5.2	Hasil simulasi menggunakan FEM.....	64
5.2.1	Verifikasi terhadap hasil perhitungan metode GIWM, FEM Kanavalli, dan FEM Present untuk <i>load</i> 300 N dan <i>slip</i> 10% dengan <i>update geometry</i> dipotong	65
5.2.2	Verifikasi terhadap hasil perhitungan metode GIWM, Kanavalli, dan FEM untuk <i>load</i> 300 N dan <i>slip</i> 10% dengan <i>update geometry</i> dijepit.....	68
5.2.3	Prediksi keausan <i>FEM</i> untuk <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N, 500 N dengan <i>slip</i> 10%	70
BAB IV	PENUTUP	72
6.1	Kesimpulan	72
6.2	Saran	72
DAFTAR	PUSTAKA	74
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen-komponen mekanikal yang saling kontak (a) roda kereta api dengan rel, (b) gesekan dua buah <i>gear</i>	2
Gambar 1.2	Permukaan suatu komponen dan <i>asperity</i>	2
Gambar 1.3	Diagram penelitian yang dikerjakan oleh penulis	4
Gambar 2.1	<i>Abrasive wear</i> oleh <i>microcutting</i> pada permukaan yang lunak.....	7
Gambar 2.2	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>	7
Gambar 2.3	<i>Adhesive wear</i> karena <i>adhesive shear and transfer</i>	7
Gambar 2.4	Proses perpindahan logam karena <i>adhesive wear</i>	8
Gambar 2.5	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis.....	8
Gambar 2.6	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat.	8
Gambar 2.7	Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan.....	9
Gambar 2.8	Contoh terbentuknya partikel keausan pada aus lelah (<i>fatigue wear</i>).....	10
Gambar 2.9	<i>Corrosive wear</i> karena patah geser pada lapisan lentur.	11
Gambar 2.10	<i>Corrosive wear</i> karena pengelupasan pada lapisan yang rapuh.	11
Gambar 2.11	<i>Sliding contact</i>	12
Gambar 2.12	<i>Rolling contact</i>	13
Gambar 2.12	<i>Rolling sliding contact</i>	13
Gambar 3.1	Diagram alir pendekatan simulasi keausan menggunakan <i>FEM</i>	17
Gambar 3.2	Prinsip dasar untuk menentukan <i>sliding distance</i> pada <i>rolling</i> dan <i>sliding contact</i>	19
Gambar 3.3	<i>Slip</i> yang terjadi pada <i>rolling-sliding contact</i>	21
Gambar 3.4	Diagram alir simulasi keausan <i>disc</i> menggunakan <i>GIWM</i>	22
Gambar 3.5	Gambar menunjukkan posisi yang berbeda diasumsikan oleh titik nodal referensi.....	24
Gambar 3.6	Diagram alir simulasi keausan dalam <i>twin-disc tribometer</i>	25
Gambar 4.1	Elemen garis.....	31

Gambar 4.2	Elemen bidang.....	31
Gambar 4.3	Elemen volum	31
Gambar 4.4	Diagram alir untuk simulasi keausan FEM.....	33
Gambar 4.5	(a) Model <i>twin-disc</i> pada <i>rolling</i> ; (b) Model FEM.....	35
Gambar 4.6	Model <i>twin-disc</i> dengan dimensi lebih kecil.....	35
Gambar 4.7	Geometri model (a) <i>disc 1 deformable</i> , (b) <i>disc analitical rigid</i>	36
Gambar 4.8	Geometri model diperkecil (a) <i>disc 1</i> , dan (b) <i>disc 2</i>	37
Gambar 4.9	Material elastis	38
Gambar 4.10	<i>Create section</i>	39
Gambar 4.11	<i>Edit section</i>	39
Gambar 4.12	<i>Section assignment part 1</i>	40
Gambar 4.13	<i>Analitical rigid part 2</i>	41
Gambar 4.14	<i>Assembly part 1 dan part 2</i>	41
Gambar 4.15	<i>Create step</i>	42
Gambar 4.16	<i>Create interaction</i>	43
Gambar 4.17	<i>Edit interaction dan contact property</i>	44
Gambar 4.18	<i>Create boundary condition</i>	45
Gambar 4.19	Menu <i>boundary condition</i>	45
Gambar 4.20	Create baoundary condition	46
Gambar 4.21	Pemilihan <i>line</i> pada <i>disc 1</i> untuk penentuan kondisi batas.	46
Gambar 4.22	<i>Create load</i>	47
Gambar 4.23	Memasukkan data dan pemilihan titik untuk <i>load</i> yang diberikan pada <i>disc 1</i>	47
Gambar 4.24	<i>Mesh</i>	48
Gambar 4.25	<i>Create job</i>	48
Gambar 4.26	<i>Job manager</i>	49
Gambar 4.27	<i>Proses running/iterasi</i>	49
Gambar 4.28	<i>Update geometri</i>	50
Gambar 4.29	Geometri juring.....	51
Gambar 4. 30	<i>Model geometry</i> (a) <i>disc 1</i> (b) penjepit.....	52

Gambar 4.31	Material elastis.....	53
Gambar 4.32	Create section	54
Gambar 4.33	Edit section.....	54
Gambar 4.34	Section assignment part 1	55
Gambar 4.35	Assembly part 1 dan part 2.....	56
Gambar 4.36	Create step.....	57
Gambar 4.37	Create interaction	58
Gambar 4.38	Edit interaction dan contact property	58
Gambar 4.39	Create boundary condition.	59
Gambar 4.40	Menu boundary condition	60
Gambar 4.41	Create baunday condition.	60
Gambar 4.42	Pemilihan line pada disc 1 untuk penentuan kondisi batas.....	61
Gambar 4.43	Mesh.....	61
Gambar 4.44	Create job.....	62
Gambar 4.45	Job manager.....	62
Gambar 4.46	Proseses running/iterasi.....	63
Gambar 5.1	Grafik tinggi keausan terhadap jumlah rotasi dengan beban $F_N = 300$ N dengan slip 10%.....	65
Gambar 5.2	Grafik tekanan kontak terhadap jumlah rotasi dengan beban $F_N = 300$ N dengan slip 10%.....	66
Gambar 5.3	Grafik tekanan kontak searah sumbu-z (σ_z), slip 10% dan load 300 N	67
Gambar 5.4	Grafik tekanan kontak searah sumbu-x (σ_x) slip 10% dan load 300 N.	67
Gambar 5.5	Grafik tinggi keausan terhadap jumlah rotasi dengan beban $F_N = 300$ N dengan slip 10%.....	68
Gambar 5.6	Grafik tekanan kontak terhadap jumlah rotasi dengan beban $F_N = 300$ N dengan slip 10%.....	69
Gambar 5.7	Grafik tekanan kontak searah sumbu-z (σ_z), slip 10% dan load 300 N	69

Gambar 5.8	Grafik tekanan kontak searah sumbu- x (σ_x) <i>slip</i> 10% dan <i>load</i> 300 N....	70
Gambar 5.9	Grafik tinggi keausan (h) terhadap jumlah rotasi (), <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N (<i>slip</i> 10%).....	70
Gambar 5.11	Grafik P <i>center</i> terhadap jumlah rotasi (), untuk <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N (<i>slip</i> 10%).....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai koefisien keausan untuk beberapa material	32
Tabel 4.2	Parameter-parameter untuk geometri <i>twin-disc</i>	34

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
A	<i>Contact area</i>	[mm ²]
Δt	Selisih waktu	[s]
a	Setengah lebar kontak	[mm]
$a_{(x)}$	Setengah lebar kontak searah sumbu- x	[mm]
$a_{(y)}$	Setengah lebar kontak searah sumbu- y	[mm]
dh^{wear}	Perubahan tinggi keausan	[mm]
ds	Perubahan jarak <i>sliding</i>	[mm]
E_C	Modulus elastisitas kontak	[MPa]
$E_{Disc 1}$	Modulus elastisitas material <i>disc 1</i>	[MPa]
$E_{Disc 2}$	Modulus elastisitas material <i>disc 2</i>	[MPa]
F_N	Gaya arah normal	[N]
H	Kekerasan material tidak berdimensi	[-]
h^w	Tinggi keausan	[mm]
h_e	Tinggi keausan elastic	[mm]
Δh_{maxi}	Tinggi keausan maksimum tiap <i>increment</i>	[mm]
i	<i>Increment</i>	[-]
k	Koefisien keausan tidak berdimensi	[-]
k_D	Koefisien keausan berdimensi	[mm ³ /Nmm]
p	Tekanan kontak	[N/mm ²]
p_m	Tekanan kontak rata-rata	[N/mm ²]
p_i	Tekanan kontak (<i>increment</i>)	[N/mm ²]
s	Jarak <i>sliding</i>	[mm]
s_{max}	Jarak <i>sliding</i> total	[mm]
Δs	Selisih jarak <i>sliding</i> (<i>kenaikan jarak sliding</i>)	[mm]
$\nu_{Disc 1}$	<i>Poisson's ratio of disc 1</i>	[-]

$\nu_{Disc\ 2}$	<i>Poisson's ratio of disc 2</i>	[-]
V	Volume	[mm ³]
μ	Koefisien gesek	[-]
ζ	<i>Creep</i>	[%]
v	Kecepatan linear	[m/s]
ω	Kecepatan sudut	[rad/s]
h_{i+1}	Total tinggi keausan	[mm]
h_i	Tinggi keausan awal	[mm]
v_1	Kecepatan linear <i>disc 1</i>	[m/s]
v_2	Kecepatan linear <i>disc 2</i>	[m/s]
θ	Sudut	[⁰]
R_1	Jari-jari <i>disc 1</i>	[mm]
R_2	Jari-jari <i>disc 2</i>	[mm]
R_{li}	<i>Increment</i> perubahan jari-jari <i>disc 1</i>	[mm]
N	Rotasi	[-]
U_{i+1}	Kenaikan <i>displacement</i> elastis	[mm]