

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

- Nama : Yanto Ahmad Nurdiansyah
NIM : L2E 007 086
Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT
Jangka Waktu : 9 (Sembilan) bulan
Judul : **PERHITUNGAN KEAUSAN BERBASIS FEM PADA SISTEM ROLLING-SLIDING CONTACT**
Isi Tugas :
 1. Analisa perhitungan keausan yang terjadi pada simulasi *rolling-sliding contact* untuk *twin-disc*.
 2. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan model lain.
 3. Prediksi perhitungan keausan *rolling-sliding* untuk *twin-disc*.

Semarang, Desember 2011

Dosen Pembimbing,



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

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 : Yanto Ahmad Nurdiansyah

NIM : L2E 007 086

Tanda Tangan :

Tanggal : Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yanto Ahmad Nurdiansyah

NIM : L2E 007 086

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : PERHITUNGAN KEAUSAN BERBASIS *FEM* PADA SISTEM *ROLLING-SLIDING CONTACT*

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

()

Pengaji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT

()

Penguji : Dr. Syaiful, ST, MT

()

Penguiji : Dr. Jr. Nazaruddin Sinaga, MS

()

Semarang, Desember 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Dipl. Ing. Jr. Berkah Fadiar 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 : YANTO AHMAD NURDIANSYAH
NIM : L2E 007 086
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 :

“**PERHITUNGAN KEAUSAN BERBASIS FEM PADA SISTEM ROLLING-SLIDING CONTACT**”

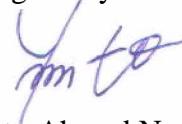
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Desember 2011

Yang menyatakan



Yanto Ahmad Nurdiansyah

NIM. L2E 007 086

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Mun keyeng pasti pareng"

(Keinginan yang kuat disertai usaha maksimal pasti akan membawa hasil)

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ✓ Orang tua saya tercinta, Yana Supriatna dan Ida Farida, SPd yang selalu memberikan do'a, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
- ✓ Kakak dan Adik saya tersayang Yanty Siti Nurbayanti, SKom dan Dicky Nur Firmansyah atas dukungannya.

ABSTRAK

Keausan mempunyai peranan penting terhadap umur pemakaian dari komponen permesinan. Keausan mengakibatkan hilangnya bagian dari permukaan yang saling berinteraksi yang akan sangat berpengaruh terhadap umur pemakaian pada komponen permesinan. *Twin-disc* merupakan salah satu contoh jenis keausan mekanik dalam sistem kontak *rolling-sliding*. *Twin-disc* adalah salah satu *Tribometer* yang sering digunakan untuk prediksi keausan. Oleh karena itu, sangat perlu untuk prediksi keausan dengan metode lain, antara lain *global incremental wear model (GIWM)*, *boundary element method (BEM)* dan *finite element method (FEM)*.

Prediksi keausan *rolling-sliding* dengan menggunakan metode *BEM* dan *FEM* dapat disajikan dalam pemodelan tiga dimensi (3D). Pada penelitian ini ditunjukkan hasil perbandingan antara *BEM* dan *FEM* dalam prediksi keausan *rolling-sliding*. Hasil untuk *load* 300 N dengan *creep* 0,5% diperoleh perbandingan antara *BEM* dengan *FEM* memiliki perbedaan rata-rata sekitar 5,9%, *GIWM* dengan *FEM* memiliki perbedaan rata-rata 9,3%, sedangkan untuk *load* 300 N dengan *creep* 1,5% diperoleh perbandingan antara *BEM* dan *FEM* memiliki perbedaan rata-rata sekitar 4,8%, *GIWM* dengan *FEM* memiliki perbedaan rata-rata sekitar 12%.

Kata kunci: model keausan, *FEM*, *rolling-sliding contact*, *creep*, *update geometry*.

ABSTRACT

Wear has an important role on service life of machinery components. Wear produces loss of part from the interacting surfaces that will greatly affect the life of the machinery components. Twin-disc is an example of the type of mechanical wear in rolling-sliding contact system. Twin-disc is one of a Tribometer that is often used for predicting such as wear. Therefore, it is necessary for the prediction of wear by other methods, including global incremental wear model (GIWM), boundary element method (BEM) and finite element method (FEM).

Rolling-sliding wear prediction using the BEM and FEM can be presented by modeling of three-dimensional (3D). In this study the results is shown by comparing between the BEM and FEM in rolling-sliding wear prediction. Result to load 300 N with creep 0,5% obtained a comparison between FEM with BEM has difference averaging around 5,9%, GIWM with FEM has the distinction of an average of 9,3%, as for load 300 N with creep 1,5% obtained comparison of BEM and FEM differences in average about 4,8%, GIWM and FEM has the distinction of an average of 12%.

Key words: *rolling-sliding contact, creep, update geometry, FEM, BEM.*

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 “Perbandingan Perhitungan Keausan Menggunakan *FEM* Pada Sistem *Rolling-Sliding Contact*” 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, Ibu dan keluarga di rumah yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat.
2. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar T.K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
3. Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
4. Pak Rifki Ismail, ST, MT, Pak Tauqiqurrahman, ST, MT, Mas Eko Saputra, ST dan Mba' Nur, terimakasih banyak atas bimbingan dan bantuannya.
5. Teman-teman di Laboratorium EDT.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin UNDIP 2007.
7. Semua teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu.

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 memerlukan.

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

Semarang, Desember 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN <i>ABSTRACT</i>	viii
HALAMAN KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN DAFTAR ISI.....	xi
HALAMAN DAFTAR GAMBAR	xiv
HALAMAN DAFTAR TABEL	xvii
NOMENKLATUR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Tujuan penulisan.....	3
1.3. Batasan masalah	3
1.4. Metodologi 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

2.2.2. Keausan yang disebabkan perilaku kimia	10
2.2.3. Keausan yang disebabkan perilaku panas	11
2.3. Teori <i>sliding</i> , <i>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 Karnavalli	16
3.4. Metode prediksi keausan Andersson.....	19
3.5. Metode prediksi keausan Hegadekatte.....	22
3.6. Metode prediksi keausan Rodriguez	24
3.7. Metode elemen hingga (<i>FEM</i>).....	27
3.8. Ringkasan	28
BAB IV PERHITUNGAN KEAUSAN <i>FEM</i>.....	30
4.1 Metode elemen hingga	30
4.2 Teori dasar metode elemen hingga	30
4.3 Penggunaan metode elemen hingga untuk perhitungan keausan.....	33
4.4 Metodologi pemodelan.....	34
4.5 Spesifikasi pemodelan keausan pada <i>rolling-sliding contact</i>	37
4.6 Menentukan kenaikan jarak <i>sliding</i>	38
4.7 <i>Update geometry</i>	39
4.8 Prosedur pembuatan model <i>twin-disc</i>	40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
5.1 Hasil metode analitik.....	54
5.2 Hasil simulasi menggunakan metode elemen hingga	55
5.2.1 Verifikasi terhadap hasil perhitungan metode <i>BEM</i> , <i>GIWM</i> , dan <i>FEM</i> untuk <i>load</i> 300 N dan <i>creep</i> 0,5%	55

5.2.2	Verifikasi terhadap hasil perhitungan metode <i>BEM</i> , <i>GIWM</i> dan <i>FEM</i> untuk <i>load</i> 300N dan <i>creep</i> 1,5%	56
5.2.3	Prediksi keausan <i>FEM</i> untuk <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N dengan <i>creep</i> 0,5%	60
5.2.4	Prediksi keausan <i>FEM</i> untuk <i>creep</i> 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dengan <i>load</i> 300 N.....	60
BAB IV PENUTUP		66
6.1	Kesimpulan.....	66
6.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		70
a)	Jurnal Internasional berjudul “ <i>A Boundary Element Formulation For Wear Modeling on 3D Contact And Rolling-Contact Problems</i> ”	71
b)	Book Chapter “ <i>Wear simulation</i> ”	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen-komponen permesinan yang saling kontak (a) <i>piston</i> dan <i>ring piston</i> , (b) <i>cam shaft</i> dengan <i>rocker arm</i> [1].....	1
Gambar 1.2	<i>Asperity</i> pada permukaan suatu komponen [2].....	2
Gambar 1.3	<i>Flow chart</i> penelitian.	4
Gambar 2.1	<i>Abrasive wear</i> oleh <i>microcutting</i> [5].	7
Gambar 2.2	Mekanisme pada <i>abrasive wear</i> a) <i>cutting</i> , b) <i>fracture</i> , c) <i>fatigue</i> dan d) <i>grain pull-out</i> [5, 6].....	7
Gambar 2.3	<i>Adhesive wear</i> karena <i>adhesive shear</i> dan <i>transfer</i> [7].....	7
Gambar 2.4	Proses perpindahan logam karena <i>adhesive wear</i> [5, 6].	8
Gambar 2.5	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis [7].....	8
Gambar 2.6	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat [7].....	8
Gambar 2.7	Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan [8].	9
Gambar 2.8	Contoh terbentuknya partikel keausan pada aus lelah [9].....	10
Gambar 2.9	<i>Corrosive wear</i> karena patah geser pada lapisan lentur [7].	11
Gambar 2.10	<i>Corrosive wear</i> karena pengelupasan yang terjadi pada lapisan yang rapuh [7].....	11
Gambar 2.11	<i>Sliding contact</i> [12].....	12
Gambar 2.12	<i>Rolling contact</i> [13].	13
Gambar 2.13	<i>Rolling sliding contact</i> [14].....	13
Gambar 3.1	Posisi yang berbeda diasumsikan oleh node referensi [18].	17
Gambar 3.2	Diagram alir simulasi keausan dalam <i>twin-disc tribometer</i> [18].....	18
Gambar 3.3	Prinsip dasar untuk menentukan <i>sliding distance</i> pada <i>rolling</i> dan <i>sliding contact</i> [18].....	20
Gambar 3.4	<i>Creep</i> yang terjadi pada <i>rolling-sliding contact</i>	22
Gambar 3.5	Diagram alir simulasi keausan menggunakan <i>GIWM</i> [19].	23
Gambar 3.6	(a) <i>boundary element mesh</i> , (b) <i>finite element mesh</i> [21].....	24
Gambar 4.1	Elemen garis.	32
Gambar 4.2	Elemen bidang.	32

Gambar 4.3	Elemen volume.....	32
Gambar 4.4	Diagram alir untuk simulasi keausan <i>FEM</i>	36
Gambar 4.5	(a) Model <i>twin-disc</i> pada <i>rolling</i> ; (b) Model FEM.....	38
Gambar 4.6	(a) Model <i>twin-disc</i> dengan dimensi lebih kecil; (b) Grafik tegangan searah sumbu-y yang diverifikasi dengan teori kontak statis Hertz.....	38
Gambar 4.7	<i>Update geometri</i>	39
Gambar 4.8	Geometri juring.....	40
Gambar 4.9	Geometri model (a) <i>disc 1 deformable</i> , (b) <i>disc 2 analitical rigid</i>	41
Gambar 4.10	Geometri model diperkecil (a) <i>disc 1</i> , dan (b) <i>disc 2</i>	41
Gambar 4.11	Material elastic.	42
Gambar 4.12	<i>Create section</i>	43
Gambar 4.13	<i>Edit section</i>	43
Gambar 4.14	<i>Section assignment part 1</i>	44
Gambar 4.15	<i>Analitical rigid part 2</i>	44
Gambar 4.16	<i>Assembly part 1</i> dan <i>part 2</i>	45
Gambar 4.17	<i>Create step</i>	46
Gambar 4.18	<i>Create interaction</i>	47
Gambar 4.19	<i>Edit interaction</i> dan <i>contact property</i>	47
Gambar 4.20	<i>Create boundary condition</i>	48
Gambar 4.21	Menu <i>boundary condition</i>	49
Gambar 4.22	<i>Create baoundary condition</i>	49
Gambar 4.23	Pemilihan <i>line</i> pada <i>pin</i> untuk penentuan kondisi batas.	50
Gambar 4.24	<i>Create load</i>	50
Gambar 4.25	Memasukkan data dan pemilihan titik untuk <i>load</i> yang diberikan pada <i>pin</i>	51
Gambar 4.26	<i>Mesh</i> dan bagian <i>mesh</i> yang diperhalus.	51
Gambar 4.27	<i>Create job</i>	52
Gambar 4.28	<i>Job manager</i>	52
Gambar 4.29	Proses <i>running/iterasi</i>	53

Gambar 5.1	Grafik tinggi keausan (h) terhadap jumlah rotasi () <i>creep</i> 0,5% (<i>GIWM, BEM</i> dan <i>FEM</i>).....	55
Gambar 5.2	Grafik tinggi keausan (h) terhadap jumlah rotasi () <i>creep</i> 1,5% (<i>GIWM, BEM</i> dan <i>FEM</i>).....	56
Gambar 5.3	Grafik tegangan searah sumbu-x (σ_x), <i>creep</i> 0,5% dan <i>load</i> 300 N..	57
Gambar 5.4	Grafik tegangan searah sumbu-y (σ_y), <i>creep</i> 0,5% dan <i>load</i> 300 N..	57
Gambar 5.5	Grafik tegangan searah sumbu-x (σ_x), <i>creep</i> 1,5% dan <i>load</i> 300 N.	58
Gambar 5.6	Grafik tegangan searah sumbu-y (σ_y), <i>creep</i> 1,5% dan <i>load</i> 300 N..	58
Gambar 5.7	Grafik tegangan searah sumbu-y (σ_y), <i>creep</i> 0,5% dan <i>load</i> 300 N..	59
Gambar 5.8	Grafik tegangan searah sumbu-x (σ_x) <i>creep</i> 0,5% dan <i>load</i> 300 N... <td>59</td>	59
Gambar 5.9	Grafik tinggi keausan (h) terhadap jumlah rotasi (), <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N (<i>creep</i> 0,5%)......	60
Gambar 5.10	Grafik tinggi keausan (h) terhadap jumlah rotasi (), <i>creep</i> 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% (<i>load</i> 300 N).	60
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>creep</i> 0,5%)	61
Gambar 5.12	Grafik P <i>average</i> terhadap jumlah rotasi (), untuk <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N (<i>creep</i> 0,5%).	61
Gambar 5.13	Grafik P <i>center</i> terhadap jumlah rotasi (), untuk <i>creep</i> 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% (<i>load</i> 300 N).....	62
Gambar 5.14	Grafik P <i>average</i> terhadap jumlah rotasi (), untuk <i>creep</i> 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% (<i>load</i> 300 N).....	62
Gambar 5.15	Grafik tinggi keausan (h) terhadap waktu (), untuk <i>creep</i> 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% (<i>load</i> 300 N).....	63
Gambar 5.16	Grafik tinggi keausan (h) terhadap waktu (), untuk <i>load</i> 200 N, 300 N, 400 N dan 500 N (<i>creep</i> 0,5%)......	63
Gambar 5.17	Grafik tinggi keausan (h), <i>creep</i> 0,5%, <i>load</i> 300 N (<i>FEM</i>).....	64
Gambar 5.18	<i>Contact pressure</i> () yang terbentuk saat (a) saat 0 rotasi, (b) setelah 2000 rotasi, (c) setelah 6000 rotasi (d) setelah 10000 rotasi.	64

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai koefisien keausan untuk beberapa material [19].....	35
Tabel 4.2	Parameter-parameter untuk geometri <i>twin-disc</i> [20].	37

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 elastis	[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> (kenaikan jarak <i>sliding</i>)	[mm]
$v_{Disc\ 1}$	<i>Poisson's ratio of disc 1</i>	[$-$]
$v_{Disc\ 2}$	<i>Poisson's ratio of disc 2</i>	[$-$]
V	Volume	[mm ³]
μ	Koefisien gesek	[$-$]

ξ	<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	[$^{\circ}$]
R_1	Jari-jari <i>disc 1</i>	[mm]
R_2	Jari-jari <i>disc 2</i>	[mm]
R_{1i}	<i>Increment</i> perubahan jari-jari <i>disc 1</i>	[mm]
N	<i>Rotasi</i>	[-]
U_{i+1}	Kenaikan <i>displacement</i> elastis	[mm]