



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA KONTAK BERULANG (*REPEATED CONTACT*)
ELASTIC-PLASTIC PADA *ELLIPSOID* MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

TUGAS AKHIR

**HANDU GENI
L2E 007 040**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
MARET 2012**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Handu Geni
NIM : L2E 007 040
Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT
Jangka Waktu : 8 (delapan) bulan
Judul : **Analisa Kontak Berulang (*Repeated Contact*) Elastic-Plastic pada *Ellipsoid* Menggunakan Metode Elemen Hingga**
Isi Tugas :

1. Analisa tegangan von-Misses, tekanan kontak, area kontak pada daerah elastis dan elastis-plastis untuk kasus kontak statis pada *ellipsoid*
2. Memvalidasi hasil yang diperoleh berdasarkan referensi.
3. Menganalisa deformasi yang terjadi pada simulasi kontak berulang pada *ellipsoid* dengan material *elastic-plastic*.
4. Mendeskripsikan perkembangan perubahan topografi kontak akibat kontak statik berulang.
5. Menganalisa tegangan sisa (*residual stress*) dan tekanan maksimum yang terjadi pada kasus ini.

Dosen Pembimbing,



Dr. Jamari, ST, MT
NIP. 197403042000121001

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 : Handu Geni

NIM : L2E 007 040

Tanda Tangan : 

Tanggal : 14 Maret 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Handu Geni

NIM : L2E 007 040

Jurusan/Program Studi : S1 Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Kontak Berulang (*Repeated Contact*) *Elastic-Plastic* pada *Ellipsoid* Menggunakan Metode Elemen 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 : Dr. Sri Nugroho, ST, MT

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

Penguji : Dr. Ir. Toni Prahasto, MSc



Semarang, 14 Maret 2012

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka, ST, MT

NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Handu Geni
NIM : L2E 007 040
Jurusan/Program Studi : S1 TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya dan pembimbing yang berjudul :

Analisa Kontak Berulang (Repeated Contact) Elastic-Plastic pada Ellipsoid Menggunakan Metode Elemen 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 kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 14 Maret 2012

Yang menyatakan



Handu Geni
NIM. L2E 007 040

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

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

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Orang tua saya tercinta, Bapak Susilo Utomo dan Ibu Dyani Harwati yang selalu memberikan do'a, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
- ❖ Kakak saya, Waiyang Ajiwo atas dukungannya.

ABSTRAK

Kontak antara dua komponen yang saling bersinggungan merupakan salah satu fenomena penting di dalam bidang teknik. Beberapa model yang ada melakukan pendekatan terhadap bentuk kontak antar dua permukaan yang punya kekasaran (*asperities*) dengan model kontak antar *hemisphere* atau *ellipsoid body*. Pemodelan kontak dilakukan dengan kondisi tanpa gesekan (*frictionless*) menggunakan material elastis-plastis kemudian diberi pembebanan berupa *interference* atau *displacement*. Kontak antar *ellipsoid* dilakukan dengan radius yang berbeda yaitu searah R_x dan R_y .

Pada penelitian ini, kontak elastis-plastis tanpa gesekan pada benda ellipsoid dianalisa menggunakan metode elemen hingga (MEH). Model elemen hingga tersebut menggunakan elemen 3-D *Node Tetrahedral Structural Solid*, sifat material elastis-plastis dan pembebanan yang berupa *interference* atau *displacement* (ω). Model yang telah dibangun kemudian dikembangkan untuk mempelajari kontak berulang (*repeated contact*).

Plot kontur tegangan von-Mises ditampilkan untuk menunjukkan hasil distribusi tegangan yang terjadi. Tekanan kontak dan luas permukaan kontak juga ditampilkan untuk kondisi elastis-plastis. Model yang telah dibangun juga dibandingkan/diverifikasi dengan model lain dan menunjukkan bahwa model saling mendukung serta menunjukkan hasil yang baik. Pada kasus kontak berulang (*repeated contact*), terjadi deformasi dan tegangan residual (*residual stress*) saat *unloading*.

Kata kunci: Kontak statis berulang, elastis-plastis, defomasi, tegangan.

ABSTRACT

Contact between two components is an important phenomenon in engineering applications. Several existing models close the form of contact between two surfaces with a model of hemisphere or ellipsoid body. The contact is modeled without friction (frictionless) which uses the elastic-plastic material, then it is applied a vertical displacement loading. The ellipsoid contact is performed with radius ratio variations that is in the direction of R_x and R_y .

In this research, the elastic-plastic frictionless contact on ellipsoid bodies is analyzed by finite element method. The finite element model uses 3-D Node Tetrahedral Structural Solid element type, the elastic-perfectly plastic material property and the interference (ω) is used instead of the contact load. The developed static contact model is then elaborated to study the repeated contact condition.

Plot of the von-Misses stresses contour are presented for the stresses distribution results. The pressure distribution and the contact area are also presented for the elastic-plastic contact regime. The developed (present) model is compared to the other references and it shows a good agreement. Deformation and residual stress are also shown for the repeated contact condition.

Keywords: Static repeated contact, elastic-plastic, deformation, stress.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik 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 terima kasih kepada:

1. Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Dr. Sri Nugroho, ST, MT, Dr. MSK Tony Suryo U., ST, MT, dan Dr. Ir. Toni Prahasto, MSc selaku dosen penguji sidang Tugas Sarjana.
3. Bapak Rifky Ismail, ST, MT dan Bapak M. Tauviqirrahman, ST, MT selaku dosen pembimbing pada LAB. EDT
4. Mas Eko Saputra ST, MT atas bimbingan *software* dan masukan-masukannya.
5. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium EDT.
6. Teman-teman Teknik Mesin UNDIP 2007.

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, 14 Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
NOMENKLATUR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Metodologi Penelitian	6
1.5 Sistematika Penulisan	8
BAB II TEORI KONTAK ELASTIS & ELASTIS-PLASTIS ELIPTIK	9
2.1 Pengantar	9
2.2 Teori Kontak Hertz	11
2.3 Geometri Permukaan Kontak	13

2.4	Kontak Hertz Eliptik (<i>Elliptical Hertzian Contact</i>)	14
2.5	Kontak Elastis Eliptik (Pendekatan Baru)	19
2.6	Kontak Plastik Sempurna Eliptik (<i>Elliptic Fully Plastic Contact</i>)	23
2.7	Kontak Elastis Plastik Eliptik (<i>Elliptic Elastic-Plastic Contact</i>)	25
2.8	Ringkasan	28
BAB III PEMODELAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA		33
3.1	Pengantar	33
3.2	Teori Dasar Metode Elemen Hingga.....	36
3.3	Pemodelan dengan Metode Elemen Hingga.....	42
3.4	Hasil Analitis dan Metode Elemen Hingga (MEH)	59
BAB IV HASIL & ANALISA.....		65
4.1	Hasil Simulasi Kontak Berulang (<i>Repeated Contact</i>) untuk <i>Steel</i> dengan $5\omega_1$	67
4.2	Hasil Simulasi Kontak Berulang (<i>Repeated Contact</i>) untuk <i>Steel</i> dengan $10\omega_1$	72
BAB V PENUTUP.....		77
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh Komponen-Komponen Permesinan yang Saling Kontak, (a). <i>Ball Bearing</i> , (b). <i>Piston-Connecting Rod-Flywheel</i> , (c). <i>Rocker-Arm</i>	3
Gambar 1.2	Permukaan Suatu Komponen dan <i>Asperity</i>	4
Gambar 1.3	Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>) Penelitian	7
Gambar 2.1	Skema Model Kontak antara Dua Benda dan Aplikasi Kontak pada Proses Permesinan.....	9
Gambar 2.2	(a). <i>Conforming Contact</i> dan (b). <i>Non-Conforming Contact</i>	10
Gambar 2.3	Kontak Titik Lingkaran (<i>Circular Point Contact</i>)	12
Gambar 2.4	Kontak Garis (<i>Line Contact</i>).	12
Gambar 2.5	Kontak Ellips (<i>Elliptical Contact</i>).....	13
Gambar 2.6	Kontak Dua Permukaan Melengkung Pada Titik <i>O</i>	14
Gambar 2.7	Geometri Kontak Eliptik.	14
Gambar 2.8	Bentuk Elips b/a dan Fungsi F_1 , F_2 , dan $F_3 (= F_1^{-2/3})$ dalam Bentuk Rasio (R_x/R_y) dari Kurvatur Relative, pada Persamaan (2.12), (2.13), dan (2.14) dimana $R' = R_x$ dan $R'' = R_y$	18
Gambar 3.1	Skema Kontak dari <i>Smooth Rigid Flat</i> dengan <i>Ellipsoid</i>	34
Gambar 3.2	Analisa Elemen Hingga dan Model <i>Meshing</i> untuk Simulasi.....	35
Gambar 3.3	Aplikasi Penggunaan MEH pada Masalah Teknik.....	37
Gambar 3.4	Elemen Garis.	38
Gambar 3.5	Elemen Bidang.	38
Gambar 3.6	Elemen Volume	39
Gambar 3.7	a). Model Elemen Persegi Empat b). Model Struktur Gabungan Dua Elemen Persegi Empat.....	40
Gambar 3.8	<i>Flow Chart</i> Pemodelan dalam MEH <i>Abaqus</i> 6.10-1	42
Gambar 3.9	<i>Start Session Abaqus</i> 6.10-1	43
Gambar 3.10	Geometri Model (a). <i>Flat Rigid</i> , (b). <i>Ellipsoid</i>	43
Gambar 3.11	Penentuan Sifat Material Elastis.....	44

Gambar 3.12	Penentuan Sifat Material Plastis.....	45
Gambar 3.13	<i>Create Section</i>	46
Gambar 3.14	<i>Edit Section</i>	46
Gambar 3.15	<i>Section Assignment Ellipsoid</i>	48
Gambar 3.16	<i>Assembly Ellipsoid dan Smooth Rigid Flat</i>	48
Gambar 3.17	<i>Create Step</i>	49
Gambar 3.18	<i>Create Interaction</i>	50
Gambar 3.19	<i>Edit Interaction dan Contact Property</i>	51
Gambar 3.20	<i>Create Boundary Condition</i>	52
Gambar 3.21	<i>Edit Boundary Condition</i>	53
Gambar 3.22	<i>Create Boundary Condition</i>	53
Gambar 3.23	<i>Edit Boundary Condition</i>	54
Gambar 3.24	<i>Create Boundary Condition</i>	54
Gambar 3.25	<i>Edit Boundary Condition</i>	55
Gambar 3.26	<i>Create Boundary Condition</i>	56
Gambar 3.27	<i>Edit Boundary Condition</i>	56
Gambar 3.28	<i>Mesh</i>	57
Gambar 3.29	<i>Create Job</i>	57
Gambar 3.30	<i>Job Manager</i>	58
Gambar 3.31	<i>Job Monitor Running/Iterasi</i>	58
Gambar 3.32	Hasil Tampilan (<i>Visualization</i>).....	59
Gambar 3.33	Plot Distribusi Tegangan von-Misses Tekan $0,3\omega_1$	61
Gambar 3.34	Grafik Hubungan antara <i>Dimensionless Average Contact Pressure</i> (p/p_c) terhadap <i>Dimensionless Interference</i> (ω/ω_c).....	62
Gambar 3.35	Grafik Hubungan antara <i>Dimensionless Contact Area</i> (A/A_c) terhadap <i>Dimensionless Interference</i> (ω/ω_c).....	62
Gambar 3.36	Plot Distribusi Tegangan von-Misses Tekan $2\omega_1$	63
Gambar 3.37	Plot Jari-Jari Kontak Tekan $2\omega_1$	63
Gambar 3.38	Grafik Hubungan antara <i>Dimensionless Average Contact Pressure</i> (p/p_c) terhadap <i>Dimensionless Interference</i> (ω/ω_c).....	64

Gambar 3.39	Grafik Hubungan antara <i>Dimensionless Contact Area</i> (A/A_c) terhadap <i>Dimensionless Interference</i> (ω/ω_c).....	64
Gambar 4.1	<i>FE Model (Present Model)</i> untuk Kontak Statis Berulang pada <i>Ellipsoid-Rigid Flat</i>	65
Gambar 4.2	<i>FE Model (Present Model)</i> untuk Kondisi <i>Loading</i>	66
Gambar 4.3	<i>FE Model (Present Model)</i> untuk Kondisi <i>Unloading</i>	66
Gambar 4.4	Topografi Sumbu Minor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 5 <i>Interference Kritis (Loading-Unloading)</i>	67
Gambar 4.5	Topografi Sumbu Minor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 5 <i>Interference Kritis (Unloading)</i>	68
Gambar 4.6	Plot Distribusi Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>) <i>Unloading</i> 1 dengan Pembebanan 5 <i>Interference Kritis</i>	69
Gambar 4.7	Plot Distribusi Tekanan Maksimum <i>Loading</i> 1 dengan Pembebanan 5 <i>Interference Kritis</i>	70
Gambar 4.8	Kontur Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>) Topografi Sumbu Mayor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 5 <i>Interference Kritis</i> : (a). <i>Unloading</i> 1, (b). <i>Unloading</i> 2, (c). <i>Unloading</i> 3, (d). <i>Unloading</i> 4.....	71
Gambar 4.9	Topografi Sumbu Minor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 10 <i>Interference Kritis (Loading-Unloading)</i>	72
Gambar 4.10	Topografi Sumbu Minor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 10 <i>Interference Kritis (Unloading)</i>	73
Gambar 4.11	Plot Distribusi Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>) <i>Unloading</i> 1 dengan Pembebanan 10 <i>Interference Kritis</i>	74
Gambar 4.12	Plot Distribusi Tekanan Maksimum <i>Loading</i> 1 dengan Pembebanan 10 <i>Interference Kritis</i>	75
Gambar 4.13	Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>) Topografi Sumbu Mayor <i>Ellipsoid</i> dengan Pembebanan 10 <i>Interference Kritis</i> : (a). <i>Unloading</i> 1, (b). <i>Unloading</i> 2, (c). <i>Unloading</i> 3, (d). <i>Unloading</i> 4.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,2\omega_1$ (Elastis)	61
Tabel 3.2	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,3\omega_1$ (Elastis)	61
Tabel 3.3	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,4\omega_1$ (Elastis)	61
Tabel 3.4	Perbandingan Hasil Pembebanan $2\omega_1$ (Elastis-Plastis)	63
Tabel 4.1	Perbandingan Hasil Pembebanan $5\omega_1$ (Elastis-Plastis)	67
Tabel 4.2	Perubahan Deformasi <i>Loading-Unloading</i> dengan Pembebanan <i>5 Interference</i> Kritis.....	69
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Pembebanan $10\omega_1$ (Elastis-Plastis)	72
Tabel 4.4	Perubahan Deformasi <i>Loading-Unloading</i> dengan Pembebanan <i>10 Interference</i> Kritis.....	74
Tabel 5.1	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,2\omega_1$	77
Tabel 5.2	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,3\omega_1$	77
Tabel 5.3	Perbandingan Hasil Pembebanan $0,4\omega_1$	77
Tabel 5.4	Perbandingan Hasil Pembebanan $2\omega_1$	78
Tabel 5.5	Tekanan Maksimum pada Variasi Pembebanan	78

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
E	Modulus elastisitas	[MPa]
ν	Poisson's <i>ratio</i>	[-]
Y	<i>Yield strength</i>	[MPa]
ω	<i>Interference</i>	[mm]
a	Jari-jari semi-mayor	[mm]
b	Jari-jari semi-minor	[mm]
R_m	Jari-jari efektif rata-rata	[mm]
R_x	Jari-jari relatif kurvatur pada arah x	[mm]
R_y	Jari-jari relatif kurvatur pada arah y	[mm]
E	Modulus elastisitas efektif	[-]
$K(e)$	Integral eliptik jenis pertama	[-]
$E(e)$	Integral eliptik jenis kedua	[-]
e	Eksentrisitas elips	[-]
λ	Rasio kurvatur	[-]
H	Kekerasan material	[MPa]
ω_1	<i>Interference</i> kritis	[mm]
c_h	Koefisien kekerasan	[-]
ω_2	Permulaan <i>interference</i> kondisi plastis	[mm]
k	Elliptisitas	[-]
c	Konstanta	[-]
A	Area kontak	[mm ²]
K_v	Faktor tekanan kontak maksimum	[-]
p	Tekanan kontak rata-rata	[MPa]
p_m	Tekanan kontak maksimum	[MPa]
P	Gaya normal atau beban	[N]
R	Radius efektif dari permukaan kontak	[mm]
R_1	Radius dari permukaan 1	[mm]
R_2	Radius dari permukaan 2	[mm]

α	<i>Semi-axis</i> dari kontak elips pada arah x	[-]
β	<i>Semi-axis</i> dari kontak elips pada arah y	[-]
γ	Parameter <i>interference</i> dari kontak elips	[-]

Subskrip dan Superskrip

1, 2	Permukaan 1 dan 2
c	Kritis
e	Elastis
ep	Elastis-plastis
max	Maksimum
x	Arah x
y	Arah y