

**TUGAS SARJANA**

**PERBANDINGAN DEFORMASI PLASTIS SAAT *UNLOADING***  
**PADA KONTAK ANTAR *HEMISPHERES* DENGAN VARIASI**  
**BEBAN DAN *RADIUS* 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:**

**TOMY PRASOJO**

**L2E 307 038**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
**SEMARANG**  
**2010**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Tomy Prasajo

NIM : L2E 307 038

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 10 (sepuluh) bulan

Judul : Perbandingan Deformasi Plastis saat *Unloading* pada Kontak antar *Hemispheres* dengan Variasi Beban dan *Radius* menggunakan Metode Elemen Hingga.

Isi Tugas :

1. Membuktikan hipotesa Johnson dan Shercliff yang menyatakan bahwa bila terdapat dua buah bola (*asperity*) dengan jari-jari yang berbeda dan memiliki material yang sama kemudian diberi beban, maka deformasi plastis yang terjadi pada masing-masing bola adalah sama.
2. Menganalisa deformasi plastis antar dua *hemispheres* yang saling kontak dengan tujuh perbandingan jari-jari.
3. Mengetahui pengaruh variasi beban dan koefisien gesek terhadap deformasi plastis.
4. Membandingkan hasil dan analisa pemodelan kontak dengan hasil eksperimen.

Dosen Pembimbing,

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “ **Perbandingan Deformasi Plastis saat *unloading* pada Kontak antar *Hemispheres* dengan Variasi Beban dan *Radius* 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

Ilmu mekanika kontak adalah ilmu yang membahas mekanisme kontak antara dua buah benda yang saling bersinggungan. Penelitian ini membahas tentang perbandingan deformasi plastis antara dua buah *hemisphere* dengan perbandingan *radius* yang berbeda. Kurva *wear-time* terdiri dari tiga regim keausan: *running-in* atau *break-in*, *the steady state* dan *accelerated wear* atau *wear-out*. Penelitian deformasi plastis ini berkaitan dengan regim *running-in*. Pada regim ini, tingkat deformasi dan keausan akan semakin meningkat sampai kondisi *steady* tercapai.

Penelitian ini menggunakan software analisa elemen hingga, ABAQUS 6.5-1 yang digunakan untuk menghitung kontak antara dua *hemisphere*. Sifat material yang digunakan adalah elastis plastis. Perbandingan *radius* pada kontak *hemisphere* dimulai dari 1-7. Hasil dari pengujian dibandingkan dengan hasil dari FEM dan hasilnya baik. Hasil menunjukkan bahwa semakin meningkatnya perbandingan *radius* antar *hemisphere*, maka perbandingan deformasi plastisnya akan berkurang. Untuk perbandingan *radius* yang besar, *hemisphere* dengan *radius* kecil akan mengalami deformasi plastis lebih besar dibandingkan *hemisphere* dengan *radius* besar. Penelitian ini memperlihatkan hasil yang berbeda jika dibandingkan dengan *hypothesa* Johnson dan Shercliff.

Kata kunci: kontak statik, *hemisphere*, deformasi fully plastis, *running-in*.

## **ABSTRACT**

*Contact mechanics is a science in mechanical engineering which studies the contact mechanism between two bodies. This research compares the plastic deformation between two hemispheres with different radius ratio. The wear-time curve consists of three wear regimes: running-in or break-in or wear-in, the steady state and accelerated wear or wear-out. The plastic deformation in this research is related to the running-in regime. In this regime, the deformation and wear rate will increase progressively until the steady state regime is reached.*

*This research uses finite element analysis software, ABAQUS 6.5-1 to simulate the contact between two hemispheres. Elastic-plastic material is used to perform material behaviour. The radius ratios of two contacting hemispheres start from 1-7. The experiments are conducted to compare the finite element results and perform good agreement. The results shows that the increase of the hemisphere radius ratio will decrease the ratio of plastic deformation. For the higher radius ratio, the smaller hemisphere performs a larger plastic deformation than the larger hemisphere. This research shows a different result if it is compared with Johnson and Shercliff hypotheses.*

*Keywords: static contact, hemisphere, fully plastic deformation, running-in.*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Bapak dan Ibuku tercinta yang telah memberikan semangat dan doanya serta fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

## **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 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. Bapak Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
3. Bapak Rifky Ismail, ST, MT selaku dan Bapak M. Tauviquirrahman, ST, MT selaku dosen pada LAB. EDT.
4. Semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu atas segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini, dan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Februari 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN ABSTRAK.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Metodologi Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TEORI KONTAK <i>HERTZ</i> .....	5
2.1. Teori Mekanika Kontak.....	5
2.2. Teori Kontak Hertz.....	5
2.3. Rumus pada Kontak Elastis .....	7
2.4. Teori Dasar Gesekan .....	9
BAB III <i>FULLY PLASTIC CONTACT</i> .....	10
3.1. Pendahuluan.....	10
3.2. Kontak Elastis ( <i>Elastic Contact</i> ) .....	10



3.3. Kontak Fully-Plastis ( <i>Fully Plastic Contact</i> ) .....	13
3.4. Kontak Elastis Plastis ( <i>Elastic-plastic Contact</i> ).....	15
3.5. <i>Running-in</i> pada <i>Rolling Contact</i> .....	17
3.6. Hipotesa Johnson dan Shercliff .....	19
3.7. Ringkasan .....	20

#### BAB IV PEMODELAN KASUS KONTAK DENGAN METODE ELEMEN

HINGGA.....	25
4.1. <i>Flow Chart</i> Pemodelan dalam FEM <i>Abaqus 6.5</i> .....	25
4.2. Spesifikasi Masalah dan Geometri .....	26
4.3. Langkah-langkah Pemodelan pada FEM <i>Abaqus 6.5</i> .....	27
4.3.1. Proses <i>Pre-Processing</i> .....	27
4.3.1.1. Penentuan Geometri.....	27
4.3.1.2. Penentuan Sifat Material pada Model.....	31
4.3.1.3. Menggabungkan <i>Part 1</i> dan <i>Part 2 (assembly)</i> .....	35
4.3.2. <i>Solution</i> .....	35
4.3.2.1. <i>Step</i> .....	35
4.3.2.2. <i>Iteration</i> .....	36
4.3.2.3. Membuat Kondisi Batas.....	39
4.3.2.4. <i>Mesh</i> .....	44
4.3.3. Proses <i>Post-Processing</i> .....	48
4.3.3.1. <i>Job</i> .....	48
4.3.3.2. <i>Visualization</i> .....	50
4.4. Perhitungan Deformasi .....	50
4.4.1. Perhitungan Deformasi <i>Hemisphere 1</i> ( $\omega_{P1}$ ).....	50
4.4.2. Perhitungan Deformasi <i>Hemisphere 1</i> ( $\omega_{P2}$ ).....	51
4.4.3. Hasil Perbandingan Deformasi ( $\omega_{P1}'/\omega_{P1}$ ) .....	52

BAB V	HASIL DAN ANALISA.....	53
5.1.	Hasil Perbandingan Deformasi pada <i>Load</i> 5000 N, 8000 N dan 11000 N tanpa Koefisien Gesek ( <i>frictionless</i> ).....	53
5.2.	Hasil Perbandingan Deformasi pada <i>Load</i> 8000 N dan 11000 N dengan Koefisien Gesek ( $\mu$ ) = 0,1 dan 0,2 .....	54
5.3.	Validasi dengan Hasil Eksperimen.....	55
5.4.	Perhitungan <i>Elastic Spring Back</i> .....	59
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
6.1.	Kesimpulan .....	61
6.2.	Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA	.....	63
LAMPIRAN	.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Flow Chart</i> metodologi penelitian .....	3
Gambar 2.1	Kontak antara dua buah bola.....	6
Gambar 2.2	Macam-macam kontak.....	7
Gambar 2.3	Menentukan gaya normal.....	9
Gambar 2.4	Menentukan gaya gesek.....	9
Gambar 3.1	Deformasi plastis pada <i>asperity</i> .....	12
Gambar 3.2	Grafik <i>running-in</i> .....	17
Gambar 3.3	Struktur topografi ( <i>asperity</i> ) .....	17
Gambar 3.4	Komponen-komponen yang mengalami proses <i>running in</i> .....	18
Gambar 3.5	Pemodelan <i>asperity</i> .....	19
Gambar 4.1	<i>Flow chart</i> pemodelan dalam FEM <i>Abaqus 6.5</i> .....	24
Gambar 4.2	Pembebanan kontak <i>hemisphere</i> dengan gaya <i>P</i> .....	25
Gambar 4.3	Kondisi batas tumpuan.....	26
Gambar 4.4	Menu <i>create part</i> .....	27
Gambar 4.5	<i>Plot line</i> dan <i>arcs</i> .....	28
Gambar 4.6	<i>Part</i> .....	28
Gambar 4.7	Menu <i>create part</i> .....	28
Gambar 4.8	<i>Plot line</i> dan <i>arcs</i> .....	29
Gambar 4.9	<i>Parts</i> .....	30
Gambar 4.10	Material elastis .....	30
Gambar 4.11	Material plastis.....	31
Gambar 4.12	<i>Create section</i> .....	32
Gambar 4.13	<i>Edit section</i> .....	32
Gambar 4.14	<i>Section assignment parts 1</i> .....	33
Gambar 4.15	<i>Section assignment parts 2</i> .....	33
Gambar 4.16	<i>Assembly parts 1 dan 2</i> .....	34
Gambar 4.17	<i>Create step</i> .....	35

Gambar 4.18	<i>Create interaction</i> .....	36
Gambar 4.19	<i>Edit interaction</i> dan kontak <i>property</i> .....	36
Gambar 4.20	<i>Plot contact</i> .....	37
Gambar 4.21	<i>Create coupling</i> .....	37
Gambar 4.22	<i>Coupling</i> .....	38
Gambar 4.23	<i>Reference point</i> .....	38
Gambar 4.24	<i>Create boundary condition</i> .....	39
Gambar 4.25	Menu <i>create boundary condition</i> .....	39
Gambar 4.26	Penentuan kondisi batas .....	40
Gambar 4.27	<i>Create boundary condition</i> .....	40
Gambar 4.28	Pemilihan <i>line</i> pada <i>hemisphere</i> untuk penentuan kondisi batas .....	41
Gambar 4.29	Kondisi batas yang telah jadi .....	41
Gambar 4.30	<i>Create load</i> .....	42
Gambar 4.31	Memasukkan data dan pemilihan titik untuk <i>load</i> yang diberikan pada <i>hemisphere</i> .....	42
Gambar 4.32	Hasil akhir penentuan kondisi batas .....	43
Gambar 4.33	Pembuatan partisi pada <i>hemisphere 1 (R<sub>1</sub>)</i> .....	43
Gambar 4.34	Pembuatan partisi pada <i>hemisphere 2 (R<sub>2</sub>)</i> .....	44
Gambar 4.35	Pembagian <i>element</i> pada area partisi .....	44
Gambar 4.36	Pemilihan <i>area global mesh</i> .....	45
Gambar 4.37	<i>Mesh control</i> .....	45
Gambar 4.38	<i>Element type</i> .....	46
Gambar 4.39	Hasil akhir <i>mesh</i> pada <i>hemisphere</i> .....	47
Gambar 4.40	<i>Create job</i> .....	47
Gambar 4.41	<i>Job manager</i> .....	48
Gambar 4.42	<i>Proses running / iterasi</i> .....	48
Gambar 4.43	Hasil dari simulasi .....	49

Gambar 4.44	Pengukuran deformasi $R_1 (\omega_{P1})$ .....	49
Gambar 4.45	Pengukuran deformasi $R_2 (\omega_{P2})$ .....	50
Gambar 5.1	Grafik perbandingan deformasi untuk <i>load</i> 5000 N, 8000 N dan 11000 N tanpa koefisien gesek ( <i>frictionless</i> ) .....	52
Gambar 5.2	Grafik hasil perbandingan deformasi untuk <i>load</i> 8000 N dan 11000 N menggunakan koefisien gesek ( $\mu$ ) 0, 0,1 dan 0,2 .....	53
Gambar 5.3	Grafik daerah deformasi pada tiap perbandingan jari-jari antar <i>hemisphere</i> .....	55
Gambar 5.4	Grafik hasil perbandingan deformasi antara FEM dengan eksperimen pada <i>load</i> 8000 N ( <i>frictionless</i> ) .....	56
Gambar 5.5	Grafik hasil perbandingan deformasi antara FEM dengan eksperimen pada <i>load</i> 8000 N menggunakan koefisien gesek.....	57
Gambar 5.6	Grafik hasil perbandingan deformasi antara FEM dengan eksperimen untuk <i>load</i> 11000 N menggunakan koefisien gesek.....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel	4.1	Koordinat model 1.....	27
Tabel	4.2	Koordinat model 2.....	29
Tabel	5.1	<i>Elastic spring back</i> untuk <i>load</i> 5000 N.....	59
Tabel	5.2	<i>Elastic spring back</i> untuk <i>load</i> 8000 N.....	60
Tabel	5.3	<i>Elastic spring back</i> untuk <i>load</i> 11000 N.....	60

## NOMENKLATUR

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$a$	Jari-jari lingkaran permukaan kontak	[mm]
$A$	Luas permukaan kontak	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{c-KE}$	Luas permukaan kontak pada titik kritis <i>KE</i> model	[mm <sup>2</sup> ]
$A_e$	Luas permukaan kontak <i>elastic</i>	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{ep}$	Luas permukaan kontak <i>elastic-plastic</i>	[mm <sup>2</sup> ]
$A_p$	Luas permukaan kontak <i>fully plastic</i>	[mm <sup>2</sup> ]
$E$	Modulus elastisitas	[MPa]
$E_1$	Modulus elastisitas benda 1	[MPa]
$E_2$	Modulus elastisitas benda 2	[MPa]
$E^*$	Modulus efektif kontak	[MPa]
$h$	Jarak antara dua titik yang masing-masing titik terletak pada permukaan benda yang saling kontak	[mm]
$p$	Tekanan kontak rata-rata	[MPa]
$p_e$	Tekanan kontak rata-rata <i>elastic</i>	[MPa]
$p_{ep}$	Tekanan kontak rata-rata <i>elastic-plastic</i>	[MPa]
$p_p$	Tekanan kontak rata-rata <i>fully plastic</i>	[MPa]
$P$	Gaya kontak	[N]
$P_e$	Gaya kontak <i>elastic</i>	[N]
$P_{ep}$	Gaya kontak <i>elastic-plastic</i>	[N]
$P_p$	Gaya kontak <i>fully plastic</i>	[N]
$P_c$	Gaya kontak saat titik awal luluh	[N]
$R$	Radius efektif kontak	[mm]
$R_1$	Radius benda 1	[mm]

$R_2$	Radius benda 2	[mm]
$R_x$	Radius efektif prinsipal arah $x$	[mm]
$R_y$	Radius efektif prinsipal arah $y$	[mm]
$Y$	Kekuatan luluh material	[MPa]
$\delta$	<i>Defleksi</i>	[mm]
$\nu$	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
$\omega_{P1}$	Deformasi plastis benda 1	[mm]
$\omega_{P2}$	Deformasi plastis benda 1	[mm]
$\omega_{PL}$	Deformasi plastis saat <i>loading</i>	[mm]
$\omega_{PU}$	Deformasi plastis saat <i>unloading</i>	[mm]
$e$	<i>Elastic spring back</i>	[mm]
$\omega$	<i>Interference</i>	[mm]
$\omega_1$	Batas <i>interference</i> titik awal luluh	[mm]
$\omega_2$	Batas <i>interference fully plastic</i>	[mm]
$\omega_{1-CEB}$	Batas <i>interference</i> titik awal luluh <i>CEB</i> model	[mm]
$\omega_{1-KE}$	Batas <i>interference</i> titik awal luluh <i>KE</i> model	[mm]
$\omega_{1-ZMC}$	Batas <i>interference</i> titik awal luluh <i>ZMC</i> model	[mm]
$\omega_{2-KE}$	Batas <i>interference fully plastic KE</i> model	[mm]
$\omega_{2-ZMC}$	Batas <i>interference fully plastic ZMC</i> model	[mm]