

TUGAS SARJANA

PEMODELAN KONTAK ELASTIS-PLASTIS ANTARA SEBUAH BOLA DENGAN SEBUAH PERMUKAAN KASAR (*ROUGH SURFACE*) 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:

ARIEF YUDO YUWONO

L2E 307 007

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

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Arief Yudo Yuwono

NIM : L2E 307007

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 10 (sepuluh) bulan

Judul : Pemodelan Kontak Elastis-Plastis antara Sebuah Bola dengan Sebuah Permukaan Kasar (*Rough Surface*) Menggunakan Metode Elemen Hingga.

Isi Tugas :

1. Menghitung *Von Mises stress* antara dua sifat material yang berbeda.
2. Mengetahui pengaruh variasi *pitch* pada *rough surface* dan variasi *rigid indenter* terhadap deformasi *asperity* setelah diberikan beban dengan berbagai macam variasi *load*.
3. Menganalisa *elastic plastic boundary* yang mengalami kontak antara *rough surface* dan *rigid indenter*, dengan berbagai variasi *rigid indenter* ($R_1 = 4.76 \text{ mm}$, $R_2 = 18 \text{ mm}$) dan variasi *rough surface* ($Pitch_1 = 1.5 \text{ mm}$, $Pitch_2 = 0.5 \text{ mm}$) setelah diberikan beban berupa *displacement* ().

Dosen Pembimbing,

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “ **Pemodelan Kontak Elastis-Plastis antara Sebuah Bola dengan Sebuah Permukaan Kasar (*Rough Surface*) Menggunakan Metode Elemen Hingga**” yang disusun oleh:

Nama :

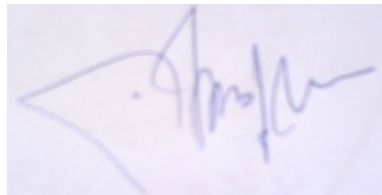
Nim :

Telah disetujui / disahkan pada :

Hari :

Tanggal :

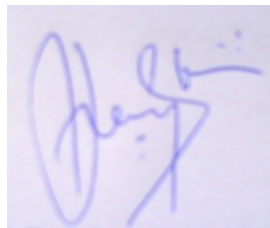
Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Pembantu dekan I



Dr. Bambang Pudjiyanto, MT
NIP. 195 212 051 985 031 001

ABSTRAK

Ilmu mekanika kontak adalah ilmu yang membahas mekanisme kontak antara dua buah benda yang saling bersinggungan. Kontak tersebut bisa berupa garis, titik dan permukaan. Penelitian ini menganalisa tentang kontak antara sebuah bola dengan sebuah permukaan kasar. Sifat material yang digunakan pada pemodelan ini adalah *elastic-plastic* dengan *strain hardening*. Pada penelitian ini diambil suatu kasus kontak statis antara *rigid indenter vs rough surface*. *Displacement* () yang dikenakan pada *rigid indenter* yang kontak dengan *rough surface* merupakan parameter analisa dalam menentukan tekanan kontak maksimum.

Model pendekatan yang dilakukan menggunakan *commercial finite element software* ABAQUS 6.5-1 disajikan dalam Tugas Akhir ini. Pemodelan dan prosedur simulasi telah diusulkan kemudian membandingkan hasil eksperimen dan hasil simulasi FEM yang telah dilakukan oleh Bhowmik dengan hasil simulasi FEM *present model*.

Perhitungan *load vs displacement* sudah mendekati hasil dari hasil eksperimen (FEM) yang dilakukan oleh Bhowmik. *Asperity* dengan pitch 0.5 mm mengalami kontak lebih banyak bila dibandingkan dengan pitch 1.5 mm untuk beban yang sama demikian pula dengan variasi *indenter*. Semakin besar geometrinya maka semakin banyak pula *asperity* yang mengalami kontak, dan juga *elastic-plastic boundary* yang terjadi semakin besar seiring dengan beban yang diberikan.

Kata kunci: mekanika kontak, elastis plastis, kekuatan regang, permukaan kasar.

ABSTRACT

Contact mechanics is a science that study the mechanism of contact between two solids. The contact can be in the case of line, point and surface. This research analyze the contact between a sphere and a rough surface. The material property that is used in this modelling is elastic-plastic with strain hardening. In this research is taken static contact problem between a rigid indenter vs a rough surface. The displacement that given to the rigid indenter wich contacting to the rough surface is the analysis parameter to determine maximum contact pressure.

The approximation model in this reaserch uses a commercial finite element software ABAQUS6.5-1. Modelling and simulation procedures are perfomed and compared with the result of Bhowmik.

The results show that load vs displacement close to the results of Bhowmik. Asperity with 0.5 mm pitch will have more contact than the one with 1.5 mm pitch for the same load. Variation indenter also give the same results. The bigger geometry, the more contact of asperity will be and the bigger elastic-plastic boundary will be resulted when the bigger load are applied.

Key words: contact mechanics, elastic-plastic, strain hardening, rough surface.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan baik moril maupun material.
- ❖ Adikku Mitha tersayang yang selalu memberiku semangat.
- ❖ Hendry, Artha, Suryono, Adit dan semua rekan-rekan Mess Harmony yang telah memberikan hari-hari yang indah.

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. Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Rifky Ismail, ST, MT selaku dan M. Tauviquirrahman, ST, MT selaku dosen pada LAB. EDT.
3. 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, April 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.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
NOMENKLATUR	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II MEKANIKA KONTAK PADA PERMUKAAN KASAR	
(<i>ROUGH SURFACE</i>)	
2.1. Pendahuluan.....	6
2.2. Kontak <i>Hertz</i>	7
2.3. Kontak <i>Elastic-Plastic</i>	9
2.4. Kontak pada <i>Rough Surface</i>	10
2.4.1. Pendekatan Statistik	10
2.4.2. Pendekatan Deterministik.....	13

BAB III PROSEDUR PEMODELAN KONTAK PADA PERMUKAAN	
KASAR (<i>ROUGH SURFACE</i>) DENGAN METODE ELEMEN	
HINGGA	
4.1. Metodologi tentang Teori Metode Elemen Hingga	16
4.2. Teori Dasar Metode Elemen Hingga.....	17
4.3. Spesifikasi Masalah dan Geometri.....	20
4.4. Langkah-langkah Pemodelan pada FEM ABAQUS 6.5-1	22
3.4.1 Proses <i>Pre-Processing</i>	22
3.4.1.1 Penentuan Geometri.....	22
3.4.1.2 Penentuan Sifat Material pada Model.....	23
3.4.1.3 Menggabungkan <i>Part 1</i> dan <i>Part 2 (assembly)</i>	23
3.4.2 <i>Solution</i>	23
3.4.2.1 <i>Step</i>	23
3.4.2.2 <i>Interaction</i>	24
3.4.2.3 Membuat Kondisi Batas.....	25
3.4.2.4 <i>Mesh</i>	25
3.4.3 Proses <i>Post-Processing</i>	26
3.4.3.1 Proses <i>Job</i>	26
BAB IV HASIL DAN ANALISA	
4.1 Pendahuluan	28
4.1.1 Hasil dan Analisa Kontak Statis Elastis antara <i>Flat Surface</i>	
dengan <i>Rigid Indenter</i>	28
4.1.2 Hasil dan Analisa Kontak Stasis Elastis-Plastis antara	
<i>Rough Surface</i> dengan <i>Rigid Indenter</i>	32
4.1.3 Analisa Beban Berupa <i>Load</i> berbanding <i>Displacement</i>	39
4.1.4 Analisa <i>Elastic-Plastic Boundary</i>	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49
A. Perbandingan <i>true stresss-strain curve present model</i> dan model Bhowmik	50
B. Tabel material <i>power law curve</i>	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	kontak antara dua benda.....	1
Gambar 1.2	<i>Flow chart</i> penelitian.	3
Gambar 2.1	Permukaan komponen mesin.....	7
Gambar 2.2	Kontak pada <i>rough surface</i>	13
Gambar 2.3	<i>Rough surface</i> yang dibuat dalam <i>present model</i>	14
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i> pemodelan dalam FEM ABAQUS 6.5-1	16
Gambar 3.2	Elemen garis	18
Gambar 3.3	Elemen bidang	19
Gambar 3.4	Elemen volume	19
Gambar 3.5	Elemen <i>Quadratic Quadrilateral</i>	19
Gambar 3.6	Skema pembebanan kontak dengan beban berupa ω	21
Gambar 3.7	Gambaran kondisi batas tumpuan.....	22
Gambar 3.8	Input material.....	23
Gambar 3.9	<i>Create step</i>	24
Gambar 3.10	<i>Create interaction</i>	25
Gambar 3.11	Hasil <i>refine mesh</i>	26
Gambar 3.12	<i>Job manager</i>	26
Gambar 3.13	Proses <i>running</i> atau iterasi	27
Gambar 4.1	FE model (<i>present model</i>) untuk kontak statis antar <i>rigid indenter</i> dengan <i>flat surface</i>	29
Gambar 4.2	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> untuk kontak statis elastis ($\delta = 0.005$ mm).....	30
Gambar 4.3	Hubungan antara p_x/p_0 terhadap x/a dari <i>present model</i> dengan <i>Hertz</i> elastis model untuk kontak statis elastis ($\delta = 0.005$ mm).....	30
Gambar 4.4	Hubungan antara h/R terhadap a/R dari <i>present model</i> dengan <i>Hertz</i> elastis model untuk kontak statis elastis dengan ($\delta = 0.005$ mm s/d $\delta = 0.06$ mm).....	31

Gambar 4.5	FE model (<i>present model</i>) untuk kontak statis antar <i>rigid indenter</i> dengan <i>rough surface</i>	32
Gambar 4.6	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 4.76 mm, $2 = 60^0$ pada saat load 2 kN. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	34
Gambar 4.7	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 4.76 mm, $2 = 60^0$ pada saat load 5 kN. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	34
Gambar 4.8	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 4.76 mm, $2 = 60^0$ pada saat load 10 kN. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	35
Gambar 4.9	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 4.76 mm, $2 = 60^0$ pada saat load 15 kN. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	35
Gambar 4.10	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 18 mm, $2 = 60^0$ pada saat $\delta = 0.5$ mm. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	37
Gambar 4.11	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 18 mm, $2 = 60^0$ pada saat $\delta = 0.52$ mm. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	37
Gambar 4.12	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 18 mm, $2 = 60^0$ pada saat $\delta = 0.6$ mm. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	38
Gambar 4.13	Distribusi <i>Von Mises Stress</i> untuk pitch 1.5 mm, indenter 18 mm, $2 = 60^0$ pada saat $\delta = 0.7$ mm. (a) Model Bhowmik, (b) <i>Present model</i>	38
Gambar 4.14	Hubungan antara <i>load</i> terhadap <i>displacement</i> dari <i>present model</i> dengan model Bhowmik untuk kontak statis elastis plastis dengan variasi <i>load</i> (kN) dengan pitch 1.5 mm.....	39

Gambar 4.15	Hubungan antara <i>load</i> terhadap <i>displacement</i> dari <i>present model</i> dengan model Bhowmik untuk kontak statis elastis plastis dengan variasi <i>load</i> (kN) dengan pitch 0.5 mm.....	40
Gambar 4.16	Hubungan besarnya <i>displacement</i> setiap <i>asperity</i> dalam satu simulasi untuk $\delta = 0.026$ mm dan pitch 0.5 mm.....	41
Gambar 4.17	Hubungan besarnya <i>displacement</i> setiap <i>asperity</i> dalam satu simulasi untuk $\delta = 0.052$ mm dan pitch 0.5 mm.....	42
Gambar 4.18	Hubungan besarnya <i>displacement</i> setiap <i>asperity</i> dalam satu simulasi untuk $\delta = 0.236$ mm dan pitch 1.5 mm.....	42
Gambar 4.19	Hubungan besarnya <i>displacement</i> setiap <i>asperity</i> dalam satu simulasi untuk $\delta = 0.472$ mm dan pitch 1.5 mm.....	43
Gambar 4.20	Distribusi <i>elastic-plastic boundary (active yield flag)</i> dari hasil simulasi model Bhowmik. Dimana <i>rpz</i> dan <i>rpr</i> adalah daerah elastic-plastic dengan satuan dalam mm.....	44
Gambar 4.21	Hubungan antara <i>h</i> (mm) terhadap <i>rpz</i> dari <i>present model</i> dengan model Bhowmik untuk $R = 4.76$ mm dengan variasi <i>displacement</i> $\delta = 0.1$ mm s/d $\delta = 1.7$ mm.....	45
Gambar 4.22	Hubungan antara <i>h</i> (mm) terhadap <i>rpr</i> dari <i>present model</i> dengan model Bhowmik untuk $R = 4.76$ mm dengan variasi <i>displacement</i> $\delta = 0.1$ mm s/d $\delta = 1.7$ mm.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil perbandingan antara <i>present model</i> dengan <i>Hertz</i> model untuk kontak statis elastis ($\delta = 0.005$ mm).	29
Tabel 4.2	Hasil perbandingan antara eksperimen Bhowmik dengan <i>present model</i> tentang hubungan besarnya beban dengan jumlah <i>asperity</i> yang mengalami kontak dengan <i>indenter</i>	40

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
a	Jari-jari lingkaran permukaan kontak	[mm]
A	Luas permukaan kontak	[mm ²]
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]
N	Parameter <i>strain hardening</i>	[-]
P	Gaya kontak	[N]
P_m	Tekanan kontak rata-rata	[MPa]
p_1	<i>Pitch rough surface</i> benda 1	[mm]
p_2	<i>Pitch rough surface</i> benda 2	[mm]
R	Radius efektif kontak	[mm]
R_1	Radius benda 1	[mm]
R_2	Radius benda 2	[mm]
r_{pr}	Daerah plastis searah sumbu x	[mm]
r_{pz}	Daerah plastis searah sumbu y	[mm]
z	Ketinggian <i>asperity</i>	[mm]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
ω	<i>Interference</i>	[mm]
a	<i>Asperity displacement</i>	[mm]
b	<i>Bulk displacement</i>	[mm]
σ	<i>Current stress</i>	[MPa]
σ_0	<i>Yield stress</i>	[MPa]
ϵ_0^e	<i>Elastic strain</i>	[-]
ϵ^p	<i>Plastic strain</i>	[-]