

LAPORAN TUGAS AKHIR

**SIMULASI KONTAK PADA SAMBUNGAN TULANG PINGGUL
BUATAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Diajukan Sebagai Salah Satu Tugas dan Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana (S-1)



Disusun oleh:
CHOTIMATUL ANSORI
L2E 005 434

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Chotimatul Ansori

NIM : L2E 005 434

Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA.

Jangka Waktu : 7 (tujuh) bulan

Judul : **Simulasi Kontak Pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan
Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Isi Tugas :

1. Analisa kontak pada sambungan tulang pinggul buatan.
2. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan penelitian yang ada.
3. Analisa kontak pada sambungan tulang pinggul buatan dengan variasi ketebalan acetabular cup dan sifat materialnya.

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA

NIP. 196001251987031001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “**Simulasi Kontak Pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan Menggunakan Metode Elemen Hingga**” yang disusun oleh:

Nama : Chotimatul Ansori

NIM : L2E 005 434

dan telah disetujui pada:

Hari :

Tanggal :

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA

NIP. 196001251987031001

Mengetahui,

Pembantu Dekan I Fakultas Teknik

Koordinator Tugas Sarjana

Ir. Bambang Pudjianto, MT.

NIP. 195212051985031001

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT.

NIP. 197104211999031003

ABSTRAK

Sambungan tulang pinggul adalah salah satu sambungan tulang yang sangat rentan cedera karena menopang beban yang besar. Material yang sekarang banyak digunakan adalah *cobalt chromium alloy* (CoCr) dan *ultra-high molecular weight polyethylene* (UHMWPE). Kegagalan sistem masih sering terjadi. Kegagalan pada sambungan tulang pinggul buatan dapat disebabkan oleh aspek medis dan aspek tribologi. Aspek tribologi antara lain seperti keausan ataupun ketidakstabilan system karena desain.

Pada penelitian kali ini akan diambil kasus kontak antara *acetabular cup* (UHMWPE) dan *femoral head* (CoCr) pada sambungan tulang pinggul buatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh perancangan desain seperti ketebalan *acetabular cup* dan sifat material terhadap distribusi tekanan kontak. Distribusi tekanan kontak berpengaruh pada keausan dan kestabilan system. Analisa kontak dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software *Abaqus 6.5*. CoCr dianggap sebagai material linier *elastic*, sedangkan UHMWE sebagai material linier *viscoelastic*. Kontak diasumsikan tanpa gesekan. Beban diberikan pada titik tengah dari femoral head sebesar 2500 N dan ditahan selama 300 detik.

Dari hasil yang diperoleh semakin tebal *acetabular cup*, semakin tinggi tekanan kontak maksimum yaitu sekitar 5 %. Sebaliknya, semakin tebal *acetabular cup* jari-jari kontak akan semakin kecil yaitu sekitar 7 %. Sifat *viscoelastic* akan menyebabkan terjadinya *creep*. Tekanan kontak akan berangsur-angsur menurun seiring berjalannya waktu. Jari-jari kontak akan semakin besar seiring berjalannya waktu.

Kata kunci: sambungan tulang pinggul buatan, tekanan kontak, UHMWPE, *viscoelastic*, *creep*.

ABSTRACT

Hip joint is one of the most vulnerable injury joint due to high load. The widely used materials are cobalt chromium alloy (CoCr) and ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). However, the failure of the system are still common. Failure on the artificial hip joint can be caused by the medical aspect and the tribological aspect. The tribological aspects, such as wear or instability of the system, can be caused by the design.

This research would taken case the contact between the acetabular cup (UHMWPE) and femoral head (CoCr) on the artificial hip joint. This study aims to analyze the design effect such as acetabular cup thickness and material properties of the contact pressure distribution. Contact pressure distribution influence on the wear and stability of the system. Contact analysis was carried out using the finite element method with the helping of ABAQUS 6.5 software. CoCr considered as linear elastic material, while UHMWE considered as linear viscoelastic material. Contact was assumed frictionless. Load was given at the midpoint of the femoral head about 2500 N and held for 300 seconds.

From the results, obtained the thicker acetabular cup, the maximum contact pressure will be increase that was about 5%. Conversely, the thicker acetabular cup, the contact radius will decrease which was around 7%. Viscoelastic properties may cause creep. Contact pressure will gradually decrease over the times. Contact radius will gradually increase over the time.

Keywords: artificial hip joint, contact pressure, UHMWPE, viscoelastic, creep.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

- ✚ Ibu dan Bapak tercinta yang sel al u memberikan do'a serta dukungan baik moril maupun material .*
- ✚ Kel uarga tersayang atas dukungan dan doanya.*
- ✚ Hepta Utami pUrnamasari atas dukungan dan motivasinya.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran 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 terimakasih kepada:

1. Ir. Sugiyanto, DEA. selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana, atas bimbingan dan bantuannya.
2. Dr. Jamari, ST, MT selaku kepala laboratorium EDT jurusan Teknik Mesin UNDIP.
3. Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan Tugas Sarjana ini.

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, Juni 2010

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KONTAK <i>VISCOELASTIC</i>	6
2.1. Geometri Permukaan Kontak	6
2.2. Teori Kontak <i>Elastic</i>	7
2.3. Sifat <i>Viscoelastic</i>	8
2.4. Model Linier <i>Viscoelastic</i>	11
2.4.1. Elemen Dasar	11
2.4.2. Model Maxwell	12
2.4.3. Model Kelvin Voight	14

2.4.4. Model <i>Standard Linear Solid</i> (SLS).....	16
2.5. Prinsip Superposisi Boltzman.....	17
2.6. Perbedaan <i>Viscoelastic</i> dengan <i>Elastic</i>	20
BAB III KONTAK PADA SAMBUNGAN TULANG PINGGUL.....	22
3.1. Pendahuluan.....	22
3.2. Sambungan Tulang Pinggul Buatan.....	23
3.3. Material.....	24
3.3.1. <i>Metal</i> dan <i>Alloy</i>	24
3.3.2. <i>Polymer</i>	25
3.3.3. <i>Cement</i>	25
3.4. Desain.....	25
3.4.1. <i>Metal-on-Metal</i>	26
3.4.2. <i>Metal-on-UHMWPE</i>	27
3.5. Kegagalan pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan	28
3.6. Kontak pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan	29
BAB IV PROSEDUR PEMODELAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA.....	33
4.1 Teori Dasar Metode Elemen Hingga.....	33
4.1.1 Konsep Dasar Analisis MEH	34
4.1.2 Jenis Elemen Pada Metode Elemen Hingga	34
4.1.3 Sistem Persamaan.....	35
4.2 Spesifikasi Masalah.....	37
4.3 <i>Pre-processing</i>	40
4.3.1 Pembuatan Komponen.....	40
4.3.2 Pemberian Properti Material pada Komponen	41
4.3.3 <i>Assembly</i> Komponen.....	42
4.3.4 Pemilihan <i>Step</i>	43
4.3.5 Pemilihan Interaksi (Kontak)	43

4.3.6	Pembebanan dan Pemberian Kondisi Batas	44
4.3.7	<i>Meshing</i>	44
4.4	Pemecahan Masalah (<i>Solving</i>).....	45
4.5	<i>Post-processing</i>	45
4.5.1	<i>Contact Pressure Plot</i>	45
4.5.2	Mencari Nilai <i>Contact Radius</i>	46
BAB V HASIL DAN ANALISA		48
5.1	Hasil dan Analisa Kontak Tulang Pinggul Buatan <i>Metal-on-Metal</i> (MOM)	48
5.2	Hasil dan Analisa Kontak Tulang Pinggul Buatan <i>Metal-on-UHMWPE</i> dengan <i>Acrylic Cement</i> (Model 1)	51
5.3	Hasil dan Analisa Kontak Tulang Pinggul Buatan <i>Metal-on-UHMWPE</i> dengan <i>PMMA Cement</i> (Model 2).....	56
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN		62
6.1	Kesimpulan.....	62
6.2	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sambungan tulang pinggul buatan.....	2
Gambar 1.2	<i>Flowchart</i> penelitian	4
Gambar 2.1	Kontak antara dua permukaan bola.....	6
Gambar 2.2	Geometri kontak antara dua permukaan.....	7
Gambar 2.3	a) kontak <i>conforming</i> , b) kontak <i>non-conforming</i>	7
Gambar 2.4	Fenomena pada material <i>viscoelastic</i>	10
Gambar 2.5	Elemen <i>spring</i>	11
Gambar 2.6	Elemen <i>dashpot</i>	12
Gambar 2.7	Model Maxwell.	12
Gambar 2.8	Model Maxwell untuk <i>creep</i> , <i>creep recovery</i> dan <i>stress relaxation</i>	14
Gambar 2.9	Model Kelvin Voight.	14
Gambar 2.10	Model Kelvin Voight untuk <i>creep</i> , <i>creep recovery</i> dan <i>stress relaxation</i>	15
Gambar 2.11	Model <i>Standard Linear Solid (SLS)</i>	16
Gambar 2.12	Model SLS untuk <i>creep</i> , <i>creep recovery</i> dan <i>stress relaxation</i>	17
Gambar 2.13	Prinsip superposisi Boltzman	18
Gambar 2.14	Material <i>elastic</i> ketika diberi tegangan konstan	20
Gambar 2.15	Material <i>elastic</i> ketika diberi regangan konstan	20
Gambar 2.16	Kurva tegangan-regangan material <i>elastic</i> dan <i>viscoelastic</i> pada siklus pembebanan	21
Gambar 3.1	Tulang pinggul buatan.....	23
Gambar 3.2	Tulang pinggul buatan.....	26
Gambar 3.3	Sambungan tulang pinggul buatan model <i>metal-on-metal</i> CoCr.....	27
Gambar 3.4	Sambungan tulang pinggul buatan model <i>metal-on-polymer</i> UHMWPE	28
Gambar 3.5	Kontak pada sambungan tulang pinggul buatan	30
Gambar 3.6	Transformasi koordinat antara <i>ball-on-plane</i> dan <i>ball-in-socket</i>	32
Gambar 4.1	Aplikasi penggunaan FEM pada masalah teknik.....	33

Gambae 4.2	Elemen garis	34
Gambar 4.3	Elemen bidang	35
Gambar 4.4	Elemen volume	35
Gambar 4.5	Diagram benda bebas dari elemen pegas linier	36
Gambar 4.6	Pemodelan <i>axysimmetric</i> untuk sambungan tulang pinggul buatan.	38
Gambar 4.7	Pembuatan komponen di <i>Abaqus 6.5</i>	40
Gambar 4.8	Contoh gambar komponen.....	41
Gambar 4.9	Pemberian properti material <i>viscoelastic</i> pada komponen.....	42
Gambar 4.10	<i>Assembly</i> dari semua komponen	42
Gambar 4.11	<i>Interaction</i>	43
Gambar 4.12	Beban dan kondisi batas.	44
Gambar 4.13	<i>Meshing</i>	45
Gambar 4.14	Plot tekanan kontak untuk ketebalan <i>cup</i> 1.506 mm, <i>step time</i> 300 s	46
Gambar 4.15	Jari-jari kontak untuk ketebalan <i>cup</i> 1.506 mm, <i>step time</i> 300 s.....	47
Gambar 5.1	Hubungan antara tekanan kontak dengan <i>angular coordinat</i> MoM pada (a) ketebalan <i>cup</i> = 1.506 mm, (b) ketebalan <i>cup</i> = 3.012 mm, (c) ketebalan <i>cup</i> = 4.518 mm.....	48
Gambar 5.2	Pengaruh dari ketebalan <i>cup</i> terhadap distribusi tekanan kontak pada <i>present FEM</i>	49
Gambar 5.3	Distribusi <i>von mises stress</i>	51
Gambar 5.4	Hubungan antara tekanan kontak dengan <i>angular coordinat</i> Model 1 pada (a) ketebalan <i>cup</i> = 1.506 mm, (b) ketebalan <i>cup</i> = 3.012 mm, (c) ketebalan <i>cup</i> = 4.518 mm.....	52
Gambar 5.5	Pengaruh dari ketebalan <i>cup</i> terhadap distribusi tekanan kontakpada model 1 pada saat (a) $t = 1$ detik, dan (b) $t = 300$ detik.....	53
Gambar 5.6	Variasi waktu terhadap (a) tekanan kontak maksimum, (b) jari-jari kontak, dan (c) kedalaman kontak pada model 1.....	55
Gambar 5.7	<i>von mises stress</i> (a) $t = 1$ detik (b) $t = 300$ detik.....	56

Gambar 5.8	Pengaruh dari ketebalan cup terhadap distribusi tekanan kontak pada model 2 pada saat (a) $t = 1$ detik, dan (b) $t = 300$ detik.....	57
Gambar 5.9	Variasi waktu terhadap (a) tekanan kontak maksimum, (b) jari-jari kontak, dan (c) kedalaman kontak pada model 2.....	59
Gambar 5.10	Distribusi <i>von mises stress</i> (a) $t = 1$ detik (b) $t = 300$ detik.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	<i>Material properties</i>	37
Tabel 4.2	<i>Shear modulus</i> hasil <i>relaxation test</i>	38
Tabel 5.1	Perbandingan hasil antara <i>present model</i> dengan model Yew dkk.	49
Tabel 5.2	Hasil simulasi model 1.....	53
Tabel 5.3	Hasil simulasi model 2.....	56

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
A	<i>Contact area</i>	[mm ²]
a	Jari-jari kontak	[mm]
c	<i>Radial clearance</i>	[mm]
E	Modulus elastisitas	[MPa]
e	<i>Exponential</i>	[-]
F_N	Gaya arah normal	[N]
$G(t)$	<i>Shear modulus</i>	[MPa]
h	Kedalaman kontak	[mm]
$J(t)$	<i>Creep respond function</i>	[MPa]
p	Tekanan	[MPa]
P_0	Tekanan kontak maksimum	[MPa]
$R1$	Jari-jari <i>head</i>	[mm]
$R2$	Jari-jari <i>cup</i>	[mm]
S_y	<i>Yield strength</i>	[MPa]
V	<i>Volume</i>	[mm ³]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
δ	Deformasi	[mm]
θ	<i>Angular coordinat</i>	[degree]
α	<i>Contact half angle</i>	[degree]
μ	Koefisien gesek	[-]
ε	Regangan	[-]
σ	Tegangan	[MPa]