

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PREDIKSI TEGANGAN *VON MISES* DAN TEKANAN KONTAK  
*TOTAL KNEE REPLACEMENT* (TKR) SELAMA PROSES *GAIT CYCLE*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

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



**Disusun oleh:**

**TEGUH ARIFIYANTO**

**L2E 307 036**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG**

**2010**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Teguh Arifiyanto

NIM : L2E 307 036

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 12 (Duabelas) bulan

Judul : Prediksi Tegangan *Von Misses* dan Tekanan Kontak *Total Knee Replacement* (TKR) Selama Proses *Gait Cycle* Menggunakan Metode Elemen Hingga

Isi Tugas : 1. Menganalisa tegangan *von misses* dan tekanan kontak *total knee replasment* (TKR) untuk *fix bearing implant*  
2. Menghitung tegangan *von misses* dan *contact pressure* untuk material UHMWPE model Jones dengan non linier matrial selama proses *gait cycle*

Dosen Pembimbing,



Dr. Jamari, ST, MT

NIP. 197 403 042 000 121 001

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “ Prediksi Tegangan *Von Misses* dan Tekanan Kontak *Total Knee Replacement* (TKR) Selama Proses *Gait Cycle* Menggunakan Metode Elemen Hingga” yang disusun oleh:

Nama : Teguh Arifiyanto

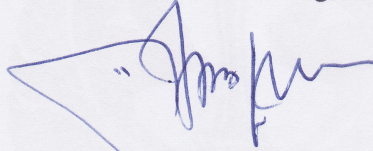
NIM : L2E 307 036

Telah disetujui pada:

Hari : .....

Tanggal : .....

Dosen Pembimbing,

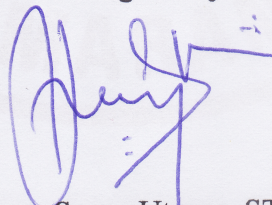


Dr. Jamari, ST, MT

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

Pembantu Dekan I,



Ir. Bambang Pudjianto, MT

NIP. 195 212 051 985 031 001

## ABSTRAK

*Total knee replacement* (TKR) digunakan untuk penggantian tulang lutut yang mengalami kerusakan dengan material *implant* yang diharapkan menyerupai lutut manusia yang sebenarnya. TKR diharapkan dapat menyembuhkan rasa sakit pada lutut yang diakibatkan rheumatoid, arthritis, infeksi, osteoarthritis, dan benturan yang sangat keras pada lutut. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan membahas prediksi tekanan kontak dan tegangan von Mises terhadap material UHMWPE (*Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*) pada TKR. Model non linier material yang berdasar pada model Shi dan model Jones disimulasikan dengan metode elemen hingga selama proses *gait cycle*.

Efek dari ketebalan dan model material dari UHMWPE pada tibial diteliti. Ketebalan tibial yang diteliti adalah 6.8 mm dan 11 mm. Hasil pada *present model* berdasarkan pada simulasi *static contact* menunjukkan hasil yang sesuai dengan *rolling contact* dari model Shi. Tegangan von Mises dari *present model* mempunyai hasil yang sama dibandingkan dengan tegangan von Mises model Jones.

Kata kunci: TKR, proses *gait cycle*, metode elemen hingga, UHMWPE

## **ABSTRACT**

*Total knee replacement (TKR) is used to replace a damaged knee joint with implant materials to make an artificial human knee. The objective of TKR is curing the knee pain caused by rheumatoid arthritis, infection, osteoarthritis, and hard impact at the knee. This research discusses about the contact pressure and the von Mises stress prediction of UHMWPE (Ultra-High Molecular Weight Polyethylene) material on TKR. The non linier material model's based on Shi model and Jones model are simulated in finite element method during the gait cycle.*

*The effect of the thickness and material model of UHMWPE on tibial are observed. The observed tibial thicknesses are 6.8 mm and 11 mm respectely. The result's of the present model based on static contact simulation performs good agreement with the rolling contact of Shi model. The von Mises stress of the present model has the similar value compared to the von Mises stress of Jones model.*

*Keywords: TKR, gait cycle, finite element method, UHMWPE*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan baik moral maupun material.
- ❖ Adikku tersayang atas dukungannya serta bantuanya.
- ❖ Kekasihku tercinta dan tersayang yang mendukungku saat senang dan susah.

## 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. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar T.K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
3. Pak Rifki, Pak Tauviq, dan Mba' Nur, terimakasih banyak atas bimbingan dan bantuannya.
4. Teman-teman seperjuangan Lab. EDT (*Engineering Design and Tribology*).
5. Semua teman-temanku yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu.

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

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
NOMENKLATUR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Tujuan penulisan .....	2
1.3. Batasan masalah.....	2
1.4. Metodologi penelitian .....	2
1.5. Sistematika penulisan.....	4
BAB II TEORI <i>KNEE JOINT</i> .....	5
2.1. Sambungan tulang lutut.....	5
2.2. Pembebanan lutut.....	10
2.3. Pemasangan <i>total knee replacement</i> .....	11
2.4. Penggambaran model .....	13
2.5. Model yang digunakan .....	14
BAB III UHMWPE ( <i>Ultra-High Molecular Weight Polyethylene</i> ) .....	16
3.1. UHMWPE <i>properties</i> .....	16
3.2. Pengetesan UHMWPE .....	18

3.3. Simulasi dalam FEM.....	18
<b>BAB IV PEMODELAN <i>KNEE JOINT</i> DALAM FEM.....</b>	<b>19</b>
4.1 <i>Flow chart</i> pemodelan dalam ANSYS 9.0.....	19
4.2 Spesifikasi model .....	20
4.3 Pembangunan model dalam CATIA V5 .....	22
4.4 Pemodelan dalam ANSYS 9.0 .....	24
4.4.1 Langkah <i>import</i> benda selain <i>file</i> ANSYS 9.0 .....	24
4.4.2 Langkah <i>pre prossesing</i> .....	26
4.4.2.1 Langkah membuat <i>element type</i> .....	26
4.4.2.2 Langkah penentuan <i>material properties</i> .....	26
4.4.2.3 Langkah membuat <i>mesh</i> .....	27
4.4.2.4 Langkah membuat <i>contact wizard</i> .....	28
4.4.3 Langkah <i>solution</i> .....	29
4.4.3.1 Langkah <i>solution control</i> .....	29
4.4.3.2 Langkah penentuan kondisi batas dan penentuan <i>load</i> yang digunakan .....	30
4.4.4 <i>General prosproct</i> .....	30
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
5.1 Hasil pendekatan Shi .....	31
5.2 Perbandingan dua jenis material UHMWPE .....	36
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>40</b>
6.1 Kesimpulan.....	40
6.2 Saran.....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagian <i>implant total knee replacement</i> (TKR).....	1
Gambar 1.2	<i>Flow chart</i> penelitian. ....	3
Gambar 2.1	Bentuk lutut dipandang dari berbagai sisi .....	6
Gambar 2.2	Tulang hasil X-ray.....	6
Gambar 2.3	Lutut yang mengalami <i>osteoarthritis</i> . ....	6
Gambar 2.4	<i>Total knee replacement</i> . ....	7
Gambar 2.5	Sistem pemasangan <i>implant</i> tanpa menggunakan semen sebagai pengikat. ....	8
Gambar 2.6	Sistem pemasangan <i>implant</i> yang menggunakan semen sebagai pengikat. ....	9
Gambar 2.7	Pembebanan lutut. ....	10
Gambar 2.8	Siklus berjalan normal dalam satu fase.....	11
Gambar 2.9	Sudut <i>knee</i> .....	11
Gambar 2.10	Pemotongan <i>femoral</i> . ....	11
Gambar 2.11	Pemotongan <i>tibial</i> .....	12
Gambar 2.12	Pemotongan <i>patella</i> .....	12
Gambar 2.13	Penempatan <i>implant</i> .....	12
Gambar 2.14	Penempatan <i>tibial implant</i> dan UHMWPE .....	13
Gambar 2.15	Pemasangan <i>patella implant</i> .....	13
Gambar 2.16	<i>Femoral component</i> .....	13
Gambar 2.17	<i>Tibial component</i> .....	14
Gambar 2.18	TKR <i>United Orthopedic Corporation</i> .....	14
Gambar 2.19	Model CATIA V5 .....	14
Gambar 3.1	Skema ethelene dan poliethelene. ....	16
Gambar 3.2	Perbandingan dari rata-rata keausan HDPE dan UHMWPE hasil dari <i>hip simulator</i> .....	16
Gambar 3.3	Contoh kerusakan pada UHMWPE. ....	18
Gambar 4.1	<i>Flow chart</i> pemodelan dalam ANSYS 9.0. ....	19
Gambar 4.2	Ukuran komponen <i>knee joint</i> .....	20
Gambar 4.3	TKR model dari <i>software CATIA V5</i> .....	21

Gambar 4.4	Tampilan <i>Wireframe and surface</i> .....	22
Gambar 4.5	<i>Femoral part</i> dalam CATIA V5 .....	23
Gambar 4.6	UHMWPE <i>part</i> dalam CATIA V5. ....	23
Gambar 4.7	Hasil <i>assembly</i> .....	23
Gambar 4.8	langkah- langkah cara <i>import</i> .....	25
Gambar 4.9	Bagian tempat mengimport.....	25
Gambar 4.10	Hasil mengimport.....	25
Gambar 4.11	Pemilihan <i>element type</i> .....	26
Gambar 4.12	Bentuk dari <i>element solid 92</i> . ....	26
Gambar 4.13	Grafik <i>true stress true strain</i> untuk UHMWPE.....	27
Gambar 4.14	Menu <i>meshtool</i> .....	27
Gambar 4.15	Hasil <i>mesh</i> dari UHMWPE.....	28
Gambar 4.16	<i>contact wizard</i> .....	28
Gambar 4.17	Hasil <i>contact wizard</i> .....	29
Gambar 4.18	<i>Sol'n control</i> yang digunakan .....	29
Gambar 4.19	Hasil dari kondisi batas .....	30
Gambar 4.20	Salah satu hasil <i>plot</i> pada <i>gait cycle 15</i> .....	30
Gambar 5.1	Pembebanan ( <i>axial force</i> ) berdasar <i>flexion angel</i> . ....	31
Gambar 5.2	<i>Flexion angel</i> berdasarkan <i>flexion angel</i> .....	31
Gambar 5.3	Ukuran komponen <i>knee joint</i> .....	32
Gambar 5.4	Grafik pendekatan FEM pada Shi .....	34
Gambar 5.5	<i>Contact pressure gait cycle 15 dan 65</i> tebal 6.8 mm .....	35
Gambar 5.6	<i>Von Misses stress gait cycle 1 dan 5</i> tebal 6.8 mm. ....	35
Gambar 5.7	<i>Contact pressure gait cycle 15 dan 65</i> tebal 11 mm . ....	35
Gambar 5.8	<i>Von Misses stress gait cycle 1 dan 5</i> tebal 11 mm .....	36
Gambar 5.9	Grafik <i>true stres strain</i> UHMWPE.....	37
Gambar 5.10	Grafik perbandingan <i>Von Misses stress</i> yang terjadi .....	37
Gambar 5.11	Grafik perbandingan <i>contact pressure</i> yang terjadi.....	38
Gambar 5.12	<i>Contact pressure gait cycle 15 dan 65</i> tebal 6.8 mm. ....	38
Gambar 5.13	<i>Von Misses stress gait cycle 1 dan 5</i> tebal 6.8 mm. ....	39
Gambar 5.14	<i>Contact pressure gait cycle 15 dan 65</i> tebal 11 mm .....	39
Gambar 5.15	<i>Von Misses stress gait cycle 15 dan 65</i> tebal 11 mm .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Spesifikasi UHMWPE. ....	2
Tabel 2.1	Pembebanan lutut .....	10
Tabel 3.1	Perbandingan sifat fisik HDPE dan UHMWPE. ....	17
Tabel 4.1	Tabel ukuran <i>knee joint</i> . ....	20
Tabel 5.1	Data ukuran UHMWPE. ....	32
Tabel 5.2	Hasil pendekatan dari <i>gait cycle</i> . ....	33
Tabel 5.3	Perbandingan material. ....	36
Tabel 6.1	Model Jones tebal 6.8 mm. ....	40
Tabel 6.2	Model Jones tebal 11 mm. ....	40

## NOMENKLATUR

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$E$	Modulus elastisitas	[MPa]
$\tau$	Tegangan geser	[MPa]
$p$	Tekanan kontak	[MPa]
$E(p)$	<i>Modulus Young</i> untuk <i>elastic layer</i>	[MPa]
$\nu$	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
$h$	Ketinggian layer	[mm]
$d$	Defleksi pegas	[mm]
$s_x$	Tegangan arah X	[MPa]
$s_y$	Tegangan arah Y	[MPa]
$s_z$	Tegangan arah Z	[MPa]
$\epsilon_x$	Regangan arah X	[-]
$\epsilon_y$	Regangan arah Y	[-]
$\epsilon_z$	Regangan arah Z	[-]
$x$	koordinat kartesius arah X	[mm]
$y$	koordinat kartesius arah Y	[mm]
$z$	koordinat kartesius arah Z	[mm]