

See file
27/11
112

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PREDIKSI TEGANGAN *VON MISES FEMORAL STEM* PADA SAMBUNGAN
TULANG PINGGUL BUATAN MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA**

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



Disusun oleh:
KOMARUDIN TRI ATMOJO
L2E 007 054

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2011

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Komarudin Tri Atmojo

NIM : L2E 007 054

Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA.

Jangka Waktu : 7 (tujuh) bulan

Judul : **Prediksi Tegangan *von Mises Femoral Stem* pada Tulang Pinggul Buatan Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Isi Tugas :

1. Prediksi besarnya tegangan *von Mises* pada *femoral stem*.
2. Mengetahui pengaruh desain *cross-section* terhadap besarnya tegangan *von Mises* yang terjadi
3. Membandingkan distribusi tegangan hasil rancangan desain *femoral stem* dari hasil diskusi dengan RSO. Prof. dr. R. Soeharso dengan femoral stem yang sudah ada.

Dosen Pembimbing,

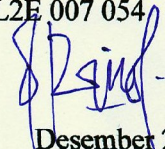


Ir. Sugiyanto, DEA

NIP. 196001251987031001

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 : Komarudin Tri Atmojo
NIM : L2E 007 054
Tanda Tangan : 
Tanggal : Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Komarudin Tri Atmojo

NIM : L2E 007 054

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : *Prediksi Tegangan von Mises Femoral Stem* pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan 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 : Ir. Sugiyanto, DEA

Penguji : Dr. Ir. AP. Bayuseno, Msc

Penguji : Dr. Rusnaldy, ST, MT

Penguji : Ir. Budi Setyana, MT

(~~Signature~~)
(Signature)
(Signature)
(Signature)

Semarang, Desember 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : KOMARUDIN TRI ATMOJO
NIM : L2E 007 054
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PREDIKSI TEGANGAN *VON MISES* FEMORAL STEM PADA
SAMBUNGAN TULANG PINGGUL BUATAN MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA**

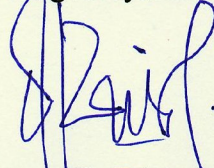
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : Desember 2011

Yang menyatakan



Komarudin Tri Atmojo

NIM. L2E 007 054

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ✚ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan baik moril maupun material.
- ✚ Teman-teman dan orang tercinta yang bersedia berjalan berdampingan dengan saya.

ABSTRAK

Sambungan tulang pinggul merupakan sambungan tulang yang sangat penting dan rentan cedera karena menopang beban dari berat badan dengan besar pembebanan yang berubah-ubah setiap waktunya. *Artificial hip joint* merupakan sambungan tulang pinggul buatan yang dapat menggantikan fungsi dari *hip joint* pada manusia yang mengalami kerusakan atau gangguan. Sampai saat ini berbagai desain *artificial hip joint* dihasilkan untuk menghasilkan desain yang dapat menggantikan fungsi sambungan tulang pinggul seperti sedia kala.

Pada penelitian ini akan diambil kasus tentang pengaruh desain *cross-section* pada *femoral stem* terhadap tingkat keefektifan *femoral stem* mendistribusikan tegangan serta memprediksi besarnya tegangan *von Mises* yang terjadi. Pemilihan area *cross-section* karena tegangan *von Mises* terpusat pada area ini. Proses desain dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Solidwork 2010*. Terdapat 3 profil *hip* yang berbeda, dipadukan dengan 4 variasi *cross-section* menghasilkan 12 desain yang berbeda dengan variasi material yang digunakan yaitu: *Stainless Steel 316 L*, *CoCr* dan *Ti6Al4V*. 4 desain *cross-section* tersebut adalah tipe *circle*, *ellipse*, *oval* dan *trapezoid*. Dari 12 desain yang dianalisa akan dibandingkan dengan *femoral stem* hasil rancangan berdasarkan diskusi dan masukan dari dokter spesialis ortopedi.

Pengaruh dari desain *cross-section* sedikit banyak mempengaruhi keefektifan distribusi tegangan dan juga mempengaruhi umur pakai dari *artificial hip joint*.

Dari hasil yang diperoleh, terdapat perbedaan besarnya nilai tegangan *von Mises*. *Femoral stem* dengan tipe hip 3 tipe *trapezoid* menghasilkan distribusi tegangan *von Mises* paling efektif. Sementara dari ketiga material yang digunakan, tegangan *von Mises* paling kecil terjadi pada *femoral stem* dengan material *Ti6Al4V*.

Kata kunci: sambungan tulang pinggul buatan, *von Mises*, *cross-section*.

ABSTRACT

Hip joints are very important and vulnerable to injury because it sustains of heavy weight with a load different varies each time. Artificial hip joint is an implant which it can replace the function of the hip joint in humans who suffered damage or disturbance. Until now a variety of artificial hip joint design generated to produce a design that can replace the function of the hip joint as usual.

This research will take the case of design influence femoral cross-section at the level of effectiveness of the femoral stem to distribute the stress and the stress of von Mises predicting. Selection of cross-section area due to von Mises stress concentrated on this area. Process design and analysis performed by using software SolidWorks 2010. There are three different hip profile, combined with 4 cross-section variations produce 12 different designs with variations of material used are: Stainless Steel 316L, CoCr and Ti6Al4V. Four cross-section designs type are circle, ellipse, oval, and trapezoid. from the 12 designs will be analyzed in comparison with the results of the femoral designs based on discussions and input from orthopedic specialist. To determine the stresses distribution was measured at four different points on the femoral stem, which is the area around the proximal and distal cross-section.

The influence of the cross-section designs, more or less affect the effectiveness of the stress and also the lifespan of the artificial hip joint. From the results obtained, there are differences in magnitude of von Mises stress values. Type of hip femoral stem type 3 trapezoid produces the most effective distribution of von Mises stress. While a third of the material used, the smallest von Mises stress occurs at the femoral stem with the material Ti6Al4V.

Key words: artificial hip joint, femoral stem, von Mises, cross-section.

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, Desember 2011

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.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Metodologi Penelitian	5
1.5. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TEORI <i>HIP JOINT</i>	9
2.1. Sambungan Tulang Pinggul (<i>Hip Joint</i>).....	9
2.2. Struktur Tulang <i>Femur</i>	10
2.3. Gambaran Umum tentang <i>Hip Join Replacement</i>	10
2.4. Komponen Tulang Pinggul Buatan (<i>Artificial Hip Joint</i>)	12
2.5. Perkembangan Penelitian Mengenai <i>Artificial Hip Joint</i>	14
2.5.1 Perkembangan Umum Mengenai <i>Artificial Hip Joint</i>	14
2.5.1.1 <i>Cemented Total Hip Replacement</i>	15

2.5.1.2	<i>Cementless Total Hip Replacement</i>	16
2.5.1.3	<i>Hybrid Total Hip Replacement</i>	17
2.5.2	Perkembangan Material <i>Artificial Hip Joint</i>	17
2.5.2.1	Material untuk Aplikasi Ortopedi	18
2.6.	Geometri dari Sistem <i>Femoral Stem</i>	21
2.6.1	<i>Femoral Head</i>	21
2.6.2	Penggambaran Model <i>Femoral Steam</i>	22
2.7.	Kegagalan pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan	22

BAB III ANALISA TEGANGAN *VON MISES*.....25

3.1.	Pembebanan pada <i>Hip Joint</i>	25
3.1.1	Gaya-gaya pada <i>Hip Joint</i>	26
3.1.1.1	Gerakan <i>Oscillatory</i>	27
3.1.1.2	Gaya Gesekan	28
3.1.1.3	Gaya Dinamis pada Sambungan Tulang Pinggul	29
3.2.	Teori Elastisitas.....	32
3.2.1	Tegangan (<i>Stress</i>)	32
3.2.2	Regangan (<i>Strain</i>)	33
3.2.3	<i>Elastisitas dan Plastisitas</i>	34
3.2.4	Deformasi	35
3.2.5	<i>Yield Point</i> (Batas Luluh)	35
3.2.6	Kriteria <i>von Mises</i>	36
3.3.	Penentuan <i>von Mises</i> pada <i>Femoral Stem</i>	36
3.4.	Pengaruh Desain <i>Cross-Section</i> Terhadap Nilai <i>von Mises</i>	38

BAB IV PROSEDUR PEMODELAN *FEMORAL STEM* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA.....39

4.1	Teori Dasar Metode Elemen Hingga	39
4.1.1	Konsep Dasar Analisis MEH	40

4.1.2	Jenis Elemen Pada Metode Elemen Hingga	40
4.1.3	Sistem Persamaan.....	41
4.2	Pengenalan <i>SolidWork 2010</i>	42
4.3	<i>Flowchart</i> Pemodelan dalam <i>SolidWork 2010</i>	43
4.4	Spesifikasi Masalah	45
4.4.1	Geometri <i>Femoral Stem</i>	45
4.4.2	Geometri <i>Cross-Section</i> pada <i>Femoral Stem</i>	46
4.5	Pembuatan Model <i>Femoral Stem 3-Dimensional</i>	48
4.5.1	Pembuatan Sketsa Model <i>Femoral Stem</i>	48
4.6	Pemberian Properti Material pada Komponen <i>Femoral Stem</i>	52
4.7	<i>Assembly</i> Komponen	53
4.8	Analisa dengan Metode Elemen Hingga (FEM)	55
4.8.1	Analisa Pembebanan Statis	55
4.8.2	Pembebanan dan Penentuan Kondisi Batas	55
4.8.3	<i>Meshing</i>	56
4.9	Penentuan Nilai <i>von Mises</i>	57
BAB V HASIL DAN ANALISA		58
5.1	Pendekatan Anthony L. Sabatini	58
5.2	Hasil dan Analisa Pemodelan <i>Femoral stem</i> pada <i>Present Model</i>	59
5.2.1	Hasil Simulasi pada <i>Femoral Stem</i> Profil 1	60
5.2.2	Hasil Simulasi pada <i>Femoral Stem</i> Profil 2.....	61
5.2.3	Hasil Simulasi pada <i>Femoral Stem</i> Profil 3.....	62
5.3	Hasil Pengukuran Tegangan <i>von Mises Femoral Stem</i> pada 4 Titik	63
5.3.1	Pengukuran Tegangan <i>von Mises</i> pada Point 1	63
5.3.2	Pengukuran Tegangan <i>von Mises</i> pada Point 2.....	65
5.3.3	Pengukuran Tegangan <i>von Mises</i> pada Point 3.....	68
5.3.4	Pengukuran Tegangan <i>von Mises</i> pada Point 4.....	70
5.4	Hasil Simulasi <i>Femoral Stem</i> pada Desain Hasil Rancangan	72

5.5 Pengukuran Nilai <i>von Mises</i> pada 4 Titik	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	76
6.1 Kesimpulan.....	76
6.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sambungan hip (<i>hip joint</i>) pada manusia	1
Gambar 1.2	Sambungan tulang pinggul buatan	2
Gambar 1.3	<i>Flowchart</i> penelitian	6
Gambar 2.1	<i>Hip Joint</i> normal	9
Gambar 2.2	Komposisi dari tulang <i>femur</i>	10
Gambar 2.3	Perbandingan <i>hip joint</i> a) pada keadaan normal, b) <i>Hip arthritis</i>	11
Gambar 2.4	Pemotongan tulang <i>femur</i> dan pemasangan <i>hip joint prosthesis</i>	11
Gambar 2.5	<i>Hip joint</i> sebelum dan sesudah dilakukan <i>hip joint replacement</i>	12
Gambar 2.6	<i>Hip Joint prosthesis</i>	12
Gambar 2.7	<i>Acetabular cup</i>	13
Gambar 2.8	<i>Femoral stem</i>	14
Gambar 2.9	<i>Cemented THR</i>	16
Gambar 2.10	<i>Cementless THR</i>	17
Gambar 2.11	Jarak <i>Femoral stem</i> dengan tulang <i>femur</i>	22
Gambar 3.1	(a) Bandul sederhana dengan panjang L melakukan getaran amplitudo kecil. (b) Kaki saat berjalan juga berlaku seperti bandul.	28
Gambar 3.2	(a) Komponen gesek horizontal gaya F_H dan komponen vertikal gaya N dengan resultan R yang ada pada tumit pada saat menjejakkan tanah, memperlambat kaki dan tubuh. (b) ketika kaki meninggalkan tanah komponen gesek gaya F_H mencegah kaki tergelincir ke belakang dan menyediakan gaya untuk mengakselerasikan tubuh ke depan.	29
Gambar 3.3	Besarnya gaya pada <i>hip joint</i> dan waktu yang dibutuhkan untuk sekali langkah	30
Gambar 3.4	Hasil pengukuran besarnya gaya pada <i>hip joint prosthesis</i> kaki kiri seorang pria dengan berat 62 kg dengan waktu sekitar 1.2 detik untuk sekali langkah.	30
Gambar 3.5	Suatu diagram yang menunjukkan rata-rata gaya dan dimensi (dalam cm) untuk pinggul-kaki di bawah beragam kondisi.	31

Gambar 4.1	Aplikasi penggunaan FEM pada masalah teknik.....	39
Gambar 4.2	Elemen garis	40
Gambar 4.3	Elemen bidang	40
Gambar 4.4	Elemen volume	41
Gambar 4.5	Diagram benda bebas dari elemen pegas linier	41
Gambar 4.6	<i>Flowchart</i> Pemodelan.	44
Gambar 4.7	<i>Hip</i> profil 1 beserta dimensi	45
Gambar 4.8	<i>Hip</i> Profil 2 beserta dimensi	46
Gambar 4.9	<i>Hip</i> Profil 3 beserta dimensi	46
Gambar 4.10	a. <i>Distal cross section, circle</i> b. <i>Proximal cross section, circle</i>	47
Gambar 4.11	a. <i>Distal cross section, oval</i> b. <i>Proximal cross section, oval</i>	47
Gambar 4.12	a. <i>Distal cross section, Ellipse</i> b. <i>Proximal cross section, ellipse</i>	47
Gambar 4.13	a. <i>Distal cross section, Trapezoid</i> b. <i>Proximal cross section, trapezoid</i>	48
Gambar 4.14	Tampilan awal pada <i>Solidwork 2010</i>	49
Gambar 4.15	Sketsa <i>femoral stem</i>	49
Gambar 4.16	Proses mengubah ke bentuk 3 dimensi	50
Gambar 4.17	Proses <i>Lofted</i>	51
Gambar 4.18	<i>Femoral stem</i> hasil rancangan	52
Gambar 4.19	Langkah memasukkan nilai properti material.	53
Gambar 4.20	<i>Assembly from Part</i> pada <i>SolidWork</i>	54
Gambar 4.21	Hasil <i>Assembly</i> model <i>femoral stem</i> dengan tulang.....	54
Gambar 4.22	Pemilihan pembebanan statis dengan <i>Cosmos SolidWork 2010</i>	55
Gambar 4.23	Pembebanan dan Kondisi batas pada model.....	56
Gambar 4.24	<i>Meshing</i> model <i>femoral stem</i> dengan tulang <i>femur</i>	56
Gambar 4.25	Hasil Simulasi <i>Femoral Stem</i>	57
Gambar 5.1	Pengukuran nilai <i>von Mises</i> pada 4 titik pada <i>femoral stem</i>	59

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 1 dengan Material <i>Stainless Steel</i> 316 L	64
Grafik 5.2	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 1 dengan Material CoCr.	64
Grafik 5.3	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 1 dengan Material Ti6Al4V	65
Grafik 5.4	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 2 dengan Material <i>Stainless Steel</i> 316 L	66
Grafik 5.5	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 2 dengan Material CoCr	67
Grafik 5.6	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 2 dengan Material Ti6Al4V	67
Grafik 5.7	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 3 dengan Material <i>Stainless Steel</i> 316 L	69
Grafik 5.8	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 3 dengan Material CoCr	69
Grafik 5.9	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 3 dengan Material Ti6Al4V	69
Grafik 5.10	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 4 dengan Material <i>Stainless Steel</i> 316 L	71
Grafik 5.11	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 4 dengan Material CoCr	71
Grafik 5.12	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Point 4 dengan Material Ti6Al4V	71
Grafik 5.13	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada Titik 4 dengan Material <i>Stainless Steel</i> 316 L	74
Grafik 5.14	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada titik 4 dengan Material CoCr	74
Grafik 5.15	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i> pada titik 4 dengan Material CoCr	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	<i>Mechanical properties of common biomaterial.</i>	4
Tabel 2.1	Perbandingan Beberapa Material <i>Implant Prosthesis</i>	19
Tabel 2.2	Batas Toxicity <i>CCR₅₀</i>	20
Tabel 2.3	Dimensi untuk masing-masing parameter sistem <i>hip joint</i>	21
Tabel 3.1	<i>Maximal joint forces in multiples of body weight</i> (Paul,1976)	27
Tabel 4.1	<i>Mechanical properties</i> dari material yang digunakan [29,30,31]..	48
Tabel 4.2	Variasi dari Desain <i>Femoral Stem</i>	51
Tabel 5.1	Nilai <i>von Mises Femoral Stem</i> pada 4 Titik yang Berbeda.....	58
Tabel 5.2	Distribusi <i>von Mises</i> pada <i>femoral stem</i> dengan tipe profil 1	60
Tabel 5.3	Distribusi <i>von Mises</i> pada <i>femoral stem</i> dengan tipe profil 2	61
Tabel 5.4	Distribusi <i>von Mises</i> pada <i>femoral stem</i> dengan tipe profil 3	62
Tabel 5.5	Nilai <i>von Mises</i> pada Point 1	63
Tabel 5.6	Nilai <i>von Mises</i> pada Point 2	65
Tabel 5.7	Nilai <i>von Mises</i> pada Point 3	68
Tabel 5.8	Nilai <i>von Mises</i> pada Point 4	70
Tabel 5.9	Simulasi Desain Hasil Rancangan	72
Tabel 5.10	Perbandingan Nilai <i>von Mises</i>	73

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas penampang sebenarnya	[mm ²]
A_o	Luas penampang mula-mula	[mm ²]
E	Modulus elastisitas	[MPa]
F_N	Gaya arah normal	[N]
F_H	Gaya arah horizontal	[N]
F_f	Gaya gesek maksimum	[N]
F_z	Gaya arah vertikal	[N]
F_x	Gaya arah depan	[N]
F_y	Gaya arah ke samping	[N]
$G(t)$	<i>Shear modulus</i>	[MPa]
L	Panjang sebenarnya	[mm]
L_{eff}	Panjang efektif kaki	[m]
L_o	Panjang mula-mula	[mm]
N	Gaya arah normal	[N]
T	Periode	[s]
μ	Koefisien gesek	[-]
W	Berat	[N]
p	Tekanan	[MPa]
S_y	<i>Yield strength</i>	[MPa]
V	<i>Volume</i>	[mm ³]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
δ	Deformasi	[mm]
μ	Koefisien gesek	[-]
ε	Regangan	[-]
e_{eng}	<i>Engineering strain</i>	[-]
σ	Tegangan	[MPa]