

## **APLIKASI *HIGHLY CROSSLINKED UHMWPE* PADA PEMODELAN *ARTIFICIAL HIP JOINT SYSTEM* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Rochmad Winarso**

Dosen Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus  
Email : [boswin2001@gmail.com](mailto:boswin2001@gmail.com)

### **Abstrak**

*Analisa tegangan yang terjadi pada Artificial Hip Joint System khususnya permukaan acetabular cups perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan warm-irradiation adiabatic melting (WIAM) material sebagai hip bearing, mengingat WIAM material mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibanding konvensional UHMWPE. Pemodelan acetabular cups juga perlu dikembangkan kearah viscoelastic modeling mengingat UHMWPE merupakan material yang bersifat viscoelastic. Tujuan penelitian ini dikhususkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan highly crosslinked UHMWPE yang telah dioptimasi melalui proses WIAM (warm-irradiation adiabatic melting) terhadap hasil distribusi von mises stress yang terjadi pada sistem sambungan tulang buatan jika diberi beban statik selama kurun waktu tertentu. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan software bantu ANSYS. Femoral head dimodelkan sebagai rigid body dan material acetabular cups diasumsikan homogenous, isotropic, linearly elastic dan viscoelastic. Pemodelan dengan metode elemen hingga dengan software ANSYS menggunakan tipe elemen PLANE182 dan jenis kontak TARGE169 dengan CONTA172. Hasil penelitian menunjukkan kedalaman kontak untuk semua material mengalami peningkatan terhadap waktu, hal ini menunjukkan fenomena creep pada material viscoelastic ketika terjadi kontak dengan beban gaya konstan. Aplikasi highly crosslinked UHMWPE material sebagai hip bearing pada Artificial hip joint system mempunyai karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan dengan konvensional UHMWPE. Hal tersebut dapat dilihat dari von mises stress yang terjadi pada tiap lapisan menjadi lebih rendah. Pemberian irradiation dose yang lebih tinggi dari 50 kGy (kilograys) tidak banyak berpengaruh pada penurunan von mises stress yang terjadi. Dari analisa tersebut menunjukkan bahwa material yang paling efektif sebagai bearing pada hip joint system bila dilihat dari besar von mises stress yang terjadi adalah WIAM 50*

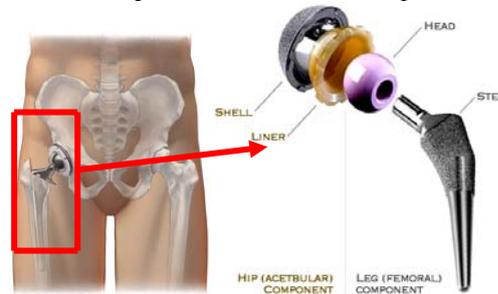
**Kata kunci:** *Crosslinked UHMWPE, WIAM, Artificial Hip Joint System, Viscoelastic, Metode Elemen Hingga*

### **Pendahuluan**

*Artificial hip joint system* adalah sistem *hip joint* buatan yang digunakan pada total *hip replacement*. *Hip joint* adalah sambungan tulang pada bagian tulang paha (*femur*) dengan tulang pelvis seperti ditunjukkan pada Gambar 1. *Total hip replacement* atau operasi penggantian *hip joint* ini biasanya disebabkan oleh beberapa hal seperti faktor usia, kecelakaan, kekurangan nutrisi dan penyakit tulang (*arthritis*) (Sutrisno I., 2009). Pada umumnya *hip bearing* pada *artificial hip joint system* diklasifikasikan menjadi (1) *hard on hard material* seperti *metal on metal* (MOM), *ceramic on ceramic* (COC) dan dikembangkan juga *ceramic on metal* (COM) dan (2) *hard on soft material* dengan menggunakan konvensional atau *highly crosslinked UHMWPE* sebagai *hip bearing*nya sedangkan *femoral head* terbuat dari paduan logam (M-PE) atau *ceramic biomaterial* (C-PE). Berdasarkan ONN hospital survey (2007) menunjukkan bahwa pemakaian UHMWPE bearing sejak tahun 1999 masih dominan (55%), *metal on metal* 37%, *ceramic on ceramic* 6 % sehingga sejak saat itu penelitian bidang *orthopedic* difokuskan pada peningkatan sifat mekanik UHMWPE sebagai *joint replacement*. Salah satu upaya untuk meningkatkan sifat mekanik pada UHMWPE material adalah melalui *melt-annealing* yang bertujuan untuk menurunkan luas permukaan yang terdeformasi selama artikulasi. Proses tersebut kemudian dimodifikasi dengan melalui proses *crosslink irradiation* pada UHMWPE material (Kurtz S.M., 2009).

Turell M.E. et al., (2000) melakukan penelitian tentang morfologi dan sifat mekanik pada *Crosslinked UHMWPE* melalui metode eksperimen yang menyimpulkan bahwa proses *crosslink irradiation* berpengaruh terhadap sifat mekanik dari material yakni *resistance to crack propagation* ( $J_{ss}$ ) dan *resistance to crack initiation* ( $J_{ic}$ ). Peningkatan *irradiation dose* akan menurunkan besar  $J_{ss}$

dan meningkatkan  $J_c$ . Levine D. et al., (1999) melakukan eksperimen tentang perilaku mekanik *UHMWPE material* melalui *uniaxial and biaxial tension test* yang menunjukkan bahwa *strain to failure* dan *ultimate tensile strength* akan menurun dengan meningkatnya *irradiation dose*. McKellop H. et al., (2000) meneliti pengaruh *irradiation dose* terhadap tingkat keausan *crosslinked UHMWPE cups* yang menyimpulkan bahwa peningkatan *irradiation dose* dapat menurunkan tingkat keausan *crosslinked UHMWPE cups* melalui metode eksperimen.



**Gambar 1.** Sambungan tulang pinggul buatan (Sutrisno I., 2009)

Kurtz, S.M. et al., (2000) telah menganalisa perbedaan tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cups* pada material *WIAM* (*warm-irradiation adiabatic melting*) dan konvensional *UHMWPE* dengan menggunakan metode elemen hingga. *Femoral head* dimodelkan sebagai *rigid body* dan material *acetabular cups* diasumsikan *homogenous, isotropic* dan *linearly elastic*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadi perbedaan *von Mises stress* yang terjadi pada *WIAM material* dan konvensional *UHMWPE* dimana pada *WIAM material* lebih kecil bila dibandingkan dengan konvensional *UHMWPE*. Mohammed H.F. (2005) melakukan studi tentang pengaruh perbedaan dimensi *hip joint system* terhadap *von Mises stress* pada bagian *cement* menggunakan metode elemen hingga. *Femoral head* dimodelkan sebagai *rigid body* dan material *acetabular cups* menggunakan *UHMWPE* yang diasumsikan *homogenous, isotropic* dan *linearly elastic*. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa dimensi optimal dari *hip joint system* adalah diameter *femoral head* 11 mm dan ketebalan *acetabular cup* tidak lebih dari 7 mm. Analisa tegangan yang terjadi pada lapisan permukaan *hip joint system* menggunakan *UHMWPE material* dengan *viscoelastic modeling* dilakukan oleh Sutrisno I. (2009). Hasil simulasi kontak pada sistem sambungan tulang pinggul buatan menunjukkan pengaruh *bearing* dari material *UHMWPE* yang bersifat *viscoelastic* terhadap distribusi tegangan *von Mises* yang terjadi. Karena sifat *viscoelastic* dari *UHMWPE* ini, tegangan *von Mises* yang dialami tulang dan semen *acrylic* dapat tereduksi. Ulrich G. (2008) melakukan pengembangan penelitian mengenai pengaruh perbedaan *crosslink density* terhadap *mechanical relaxation* pada material *UHMWPE* melalui proses *warm-irradiation adiabatic melting* (*WIAM*). Salah satu hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa perubahan *irradiation dose* berpengaruh terhadap modulus elastisitas dari material. Besar modulus elastisitas dari *WIAM material* tercantum dalam tabel 1.

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cups* perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan *WIAM material* pada *hip joint system*, mengingat *WIAM material process* mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibanding konvensional *UHMWPE*. Pemodelan *acetabular cups* perlu dikembangkan ke arah *viscoelastic modeling* mengingat *UHMWPE* merupakan material yang bersifat *viscoelastic*. Sifat *viscoelastic* merupakan suatu sifat material yang menunjukkan respon *elastic* dan *viscous* ketika terjadi deformasi. Tegangan dan regangan yang terjadi pada material *viscoelastic* merupakan suatu fungsi waktu (Sutrisno I., 2009). Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan *software* bantu ANSYS. Penelitian ini membuat pemodelan kasus kontak pada *hip joint sistem* yang menerima beban statik selama kurun waktu tertentu.

Tujuan penelitian ini dikhususkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *highly crosslinked UHMWPE* melalui *WIAM material process* terhadap hasil distribusi *von Mises stress* yang terjadi pada sistem sambungan tulang buatan jika diberi beban statik selama kurun waktu

tertentu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lagi untuk membuat optimasi desain sambungan tulang pinggul buatan.

**Tabel I** Data Modulus elastisitas *UHMWPE* pada perubahan *irradiation dose*

Material process	Modulus Elastisitas ( MPa)
WIAM 0	697 ± 39
WIAM 50	560 ± 19
WIAM 95	591 ± 39
WIAM 110	567 ± 41

## Metodologi

Langkah awal dari penelitian ini adalah melakukan validasi terhadap model. Proses validasi diperlukan guna menjamin bahwa pemodelan sudah dalam arah yang benar. Langkah selanjutnya adalah mengembangkan penelitian dengan mengaplikasikan material *highly crosslinked UHMWPE* sebagai *bearing* pada *hip joint system*. *Material properties* yang digunakan sebagai masukan dalam pemodelan di *software* ANSYS dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. *Poisson's ratio* pada material *highly crosslinked UHMWPE* adalah sebesar 0,425 dan diasumsikan sama (Kurtz,S.M. et al., 2000), sedangkan modulus elastisitas konvensional *UHMWPE* adalah sebesar 1000 Mpa dan *poisson's ratio* 0,45 (Mohamed H. F., 2005). Dimensi pemodelan yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. *Femoral head* dimodelkan sebagai *rigid body* dan material *acetabular cups* diasumsikan *homogenous, isotropic, linearly elastic* dan *viscoelastic*. Pemodelan dengan metode elemen hingga dengan *software* ANSYS menggunakan tipe elemen PLANE182 dan jenis kontak TARGE169 dengan CONTA172. Gambaran kasus kontak sambungan tulang pinggul buatan dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan metode elemen hingga, kasus kontak pada Gambar 1 dapat disederhanakan seperti pada Gambar 2.

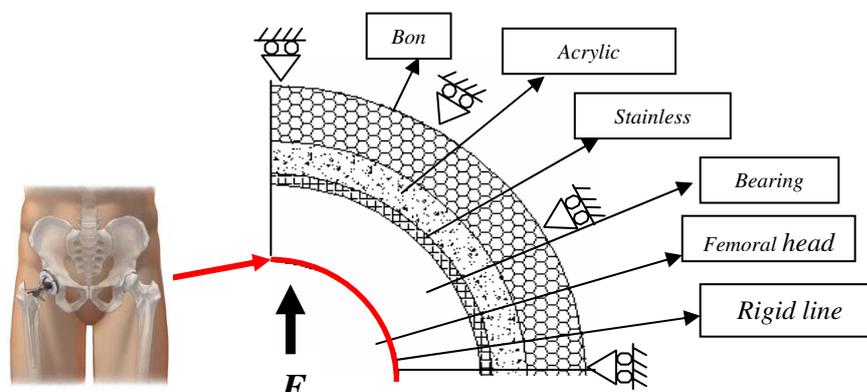
**Tabel 2.** *Material properties system*

Material	Young modulus [MPa]	Poisson's ratio	Yield strength [MPa]
Acrylic cement	2300	0.30	29
Bone	17000	0.30	120
Stainless steel	200000	0.30	875

**Tabel 3.** Dimensi *artificial hip joint*

Bagian <i>artificial hip joint system</i>	Dimensi (mm)
<i>Femoral head radius</i>	11
<i>UHMWPE radius</i>	11.1
Ketebalan <i>cups</i>	7
Ketebalan <i>shell</i>	1
Ketebalan <i>cement</i>	3

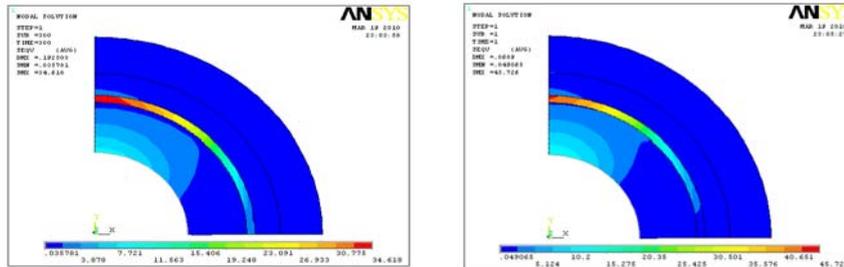
Kasus pembebanan yang dilakukan adalah beban statik sebesar 2500 N atau setara empat kali berat manusia dewasa selama 5 menit waktu pembebanan. Kurun waktu yang diberikan adalah untuk mengetahui pengaruh sifat *viscoelastic* yang merupakan suatu fungsi waktu.



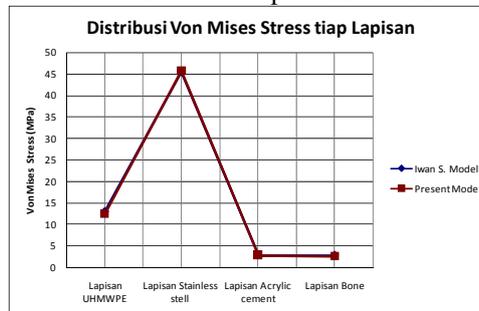
**Gambar 2.** Penyederhanaan model kontak (Sutrisno I., 2009)

## Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan hasil distribusi *von Mises stress* dari material konvensional UHMWPE. Hasil pemodelan tersebut lalu divalidasi dengan hasil pemodelan lain. Gambar 4 menunjukkan plot distribusi *von mises stress* tiap lapisan hip joint sistem dari model yang telah dibuat divalidasi dengan model lain yaitu model dari Sutrisno,I. (2009). Pemodelan dalam penelitian ini sudah menunjukkan trend data yang berhimpit dengan model Sutrisno,I. dengan angka penyimpangan yang relatif kecil yakni 2,52%. Penyimpangan ini terjadi karena ukuran mesh dan ketebalan lapisan bone tidak disajikan dalam laporan.

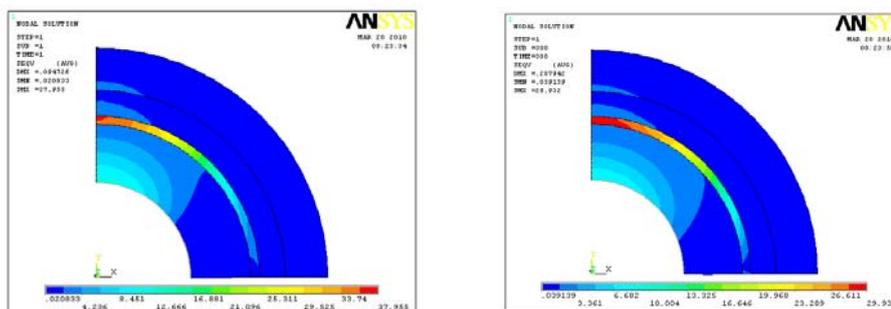


Gambar 3. Plot distribusi *von Mises stress* pada material konvensional UHMWPE

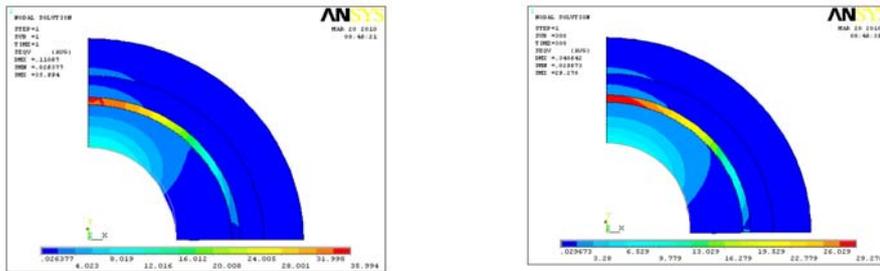


Gambar 4. Plot distribusi *von Mises stress* tiap lapisan

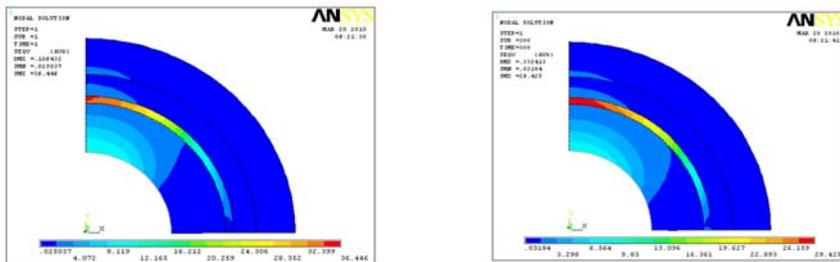
Gambar 5 - 7 menunjukkan plot distribusi *von Mises stress* hasil pemodelan pada *highly crosslinked UHMWPE* pada detik 1 dan 300 pada kasus pembebanan *ramp and hold* dengan menggunakan beban gaya konstan 2500 N. Pada gambar tersebut terlihat *von Mises stress* maksimum terjadi pada *stainless steel cup*. Hal tersebut sesuai dengan fungsi dari *stainless steel cup* yaitu sebagai penahan tagangan, sehingga tegangan pada lapisan *cement* dan *bone* dapat direduksi.



Gambar 5. Plot distribusi *von Mises stress* pada material WIAM 0



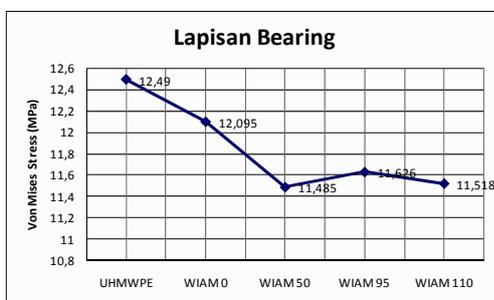
Gambar 6. Plot distribusi *von Mises stress* pada material WIAM 50



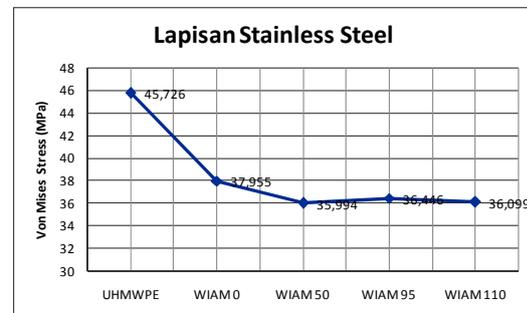
Gambar 7. Plot distribusi *von mises stress* pada material WIAM 95

Gambar 8 -11 menunjukkan besar *von mises stress* yang terjadi pada tiap-tiap lapisan berdasarkan jenis material *bearing* yang dipakai. Penggunaan material *highly crosslinked UHMWPE* sangat mempengaruhi *von mises stress* yang terjadi pada semua lapisan. Dengan mengaplikasikan *highly crosslinked UHMWPE*, *von Mises stress* yang terjadi pada semua lapisan terlihat lebih rendah bila dibandingkan dengan konvensional UHMWPE.

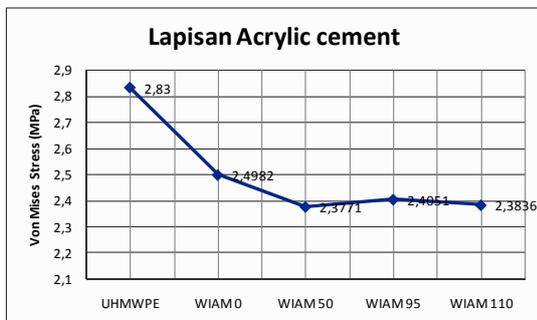
Gambar 12 menunjukkan hasil kedalaman kontak untuk semua material setelah mendapat pembebanan selama 5 menit. Besar kedalaman kontak akan mengalami peningkatan terhadap waktu, hal ini menunjukkan fenomena *creep* pada material *viscoelastic* ketika terjadi kontak dengan beban gaya konstan.



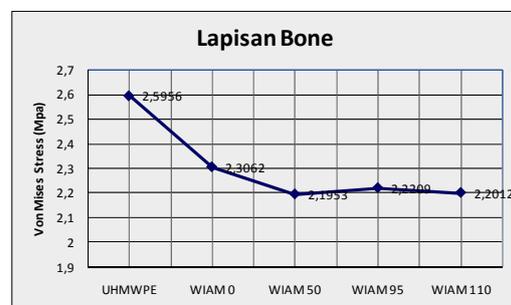
Gambar 8. *von Mises stress* pada bearing



Gambar 9. *von Mises stress* pada Stainless Steel



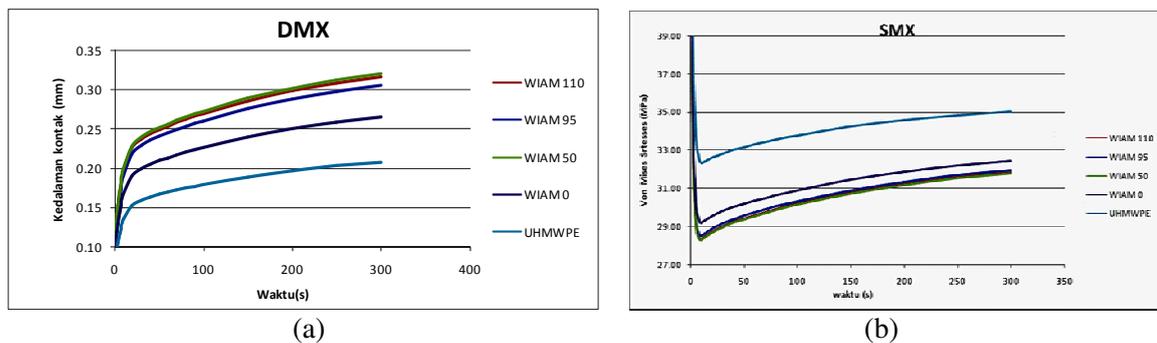
Gambar 10. *Von Mises Stress* pada lapisan Acrylic Cement



Gambar 11. *Von Mises Stress* pada lapisan Bone

Pada detik 1 sampai 13 detik perubahan kedalaman kontak berjalan cepat yang selanjutnya berjalan lebih lambat. Terjadi perbedaan yang cukup signifikan kedalaman kontak pada material konvensional UHMWPE dengan *highly crosslinked UHMWPE*. Kedalaman pada material WIAM

50, WIAM 95 dan WIAM 110 menunjukkan hasil yang berimpit. Hasil kedalaman kontak ini berbanding terbalik dengan besar *von Mises stress* yang terjadi. Pada detik-detik awal terjadi penurunan *von mises stress* pada semua material, (Gambar 13). Fenomena ini terjadi akibat sifat *viscoelastic material*. Setelah detik ke 13 *von Mises stress* secara perlahan meningkat. *Von mises stress* pada konvensional UHMWPE terlihat lebih tinggi dari *highly crosslinked UHMWPE*. Peningkatan *irradiation dose* pada material WIAM diatas 50 tidak banyak berpengaruh terhadap penurunan *von Mises stress* yang terjadi. *von Mises stress* paling rendah terjadi pada material WIAM 50. Dari analisa tersebut menunjukkan bahwa material yang paling efektif sebagai *bearing* pada *hip joint system* bila dilihat dari besar *von mises stress* yang terjadi adalah WIAM 50.



Gambar 12. Hasil plot kedalaman kontak (a) dan *von Mises stress* untuk semua material selama 300 detik

## Kesimpulan

Aplikasi *highly crosslinked UHMWPE* material sebagai hip bearing pada *Artificial hip joint system* mempunyai karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan dengan konvensional UHMWPE. Pemberian *irradiation dose* yang lebih tinggi dari 50 tidak banyak berpengaruh pada penurunan *von mises stress* yang terjadi. Dari analisa tersebut menunjukkan bahwa material yang paling efektif sebagai *bearing* pada *hip joint system* bila dilihat dari besar *von Mises stress* yang terjadi adalah WIAM 50.

## Daftar Pustaka

- Kurtz S.M., 2009, *UHMWPE Biomaterial Handbook*, II, Elsevier Inc, USA.
- Kurtz S.M., Giddings V., Muratoglu O., O'Connor D., 2000, Stresses in a Highly Crosslinked acetabular Component for Total Hip Replacement, *46<sup>th</sup> Annual Meeting*, Orthopaedic Research Society, Orlando, Florida.
- Levine D., Lin S., Kurtz S.M., 1999, Mechanical Behavior of UHMWPE Characterized by Uniaxial and Biaxial Tention Tests, *45<sup>th</sup> Annual Meeting*, Orthopaedic Research Society, Anaheim, California.
- McKellop H., Shen F., 2000, Wear of Surface Gradient Crosslinked UHMWPE Cups Against Damaged Femoral Balls, *The J. Vernon Luck Orthopaedic Research Center*, Orthopaedic Hospital, Los Angeles
- Mohamed H. F., 2005, Predicted *von Mises Stresses* in the Artificial Hip Joint System with Different Geometries, *Journal of Engineering and Applied Science*, Faculty of Engineering, Cairo University, Vol. 6.
- Sutrisno I., 2009, Analisa Kontak Pada Material Viscoelastic Menggunakan Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya dalam Pemodelan Kontak Artificial Hip Joint System, *Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro*, Semarang, Indonesia
- Turell M.E., Gomoll A.H., Bellare A., 2000, A Study of Morphology and Mechanical Properties of Crosslinked UHMWPE, *Harvard Medical School*, Boston, MA, USA.
- Ulrich G., Christian U., 2008, Mechanical Relaxation of Medical Grade UHMWPE of Different Crosslink Density as Prepared by Electron Beam Irradiation, *Institute for Polymer Technology (IKT), University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany*.