

# ANALISA KONTAK CERAMIC-ON-CROSSLINKED UHMWPE PADA SAMBUNGAN TULANG PINGGUL BUATAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

**R. Winarso**

e-mail: rochmadwinarso@yahoo.com

Departement of Mechanical Engineering, University of Muria Kudus.  
Jl. Gondang Manis PO BOX 53, Bae, Kudus, Indonesia, Phone: 0291-443844

**Jamari I. Haryanto**

Departement of Mechanical Engineering, University of Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia, Phone: 024-7460059

*Analisa kontak yang terjadi pada permukaan acetabular cups perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan new material ceramic formulations sebagai femoral head dan crosslinked UHMWPE sebagai acetabular cup. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan software bantu Abaqus. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan new material ceramic formulations sebagai femoral head dan highly crosslinked UHMWPE sebagai acetabular cup terhadap hasil distribusi tekanan kontak dan von Mises stress yang terjadi pada sistem sambungan tulang buatan jika diberi beban statik selama kurun waktu tertentu. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada ceramic-on-polyethylene akan berkurang dengan semakin besarnya angular koordinat. Perbedaan material femoral head tidak berpengaruh pada tekanan kontak yang terjadi baik pada saat awal pembebanan ( $t = 1$  detik) maupun akhir pembebanan ( $t = 300$  detik). Tekanan kontak maksimum yang terjadi pada tiap pasangan besarnya relatif sama dengan yang lain. Dari hasil pemodelan tersebut juga terlihat perbedaan besar von Mises stress dari ketiga pasangan tidak signifikan. Namun besar tekanan kontak dan von Mises stress yang terjadi mengalami perubahan terhadap waktu. Fenomena perubahan ini hanya terjadi pada bagian acetabular cup karena pada bagian ini material terbuat dari polyethylene yang bersifat viscoelastic.*

**Kata kunci:** Sambungan tulang pinggul buatan, crosslinked UHMWPE, ceramic, metode elemen hingga

## Pendahuluan

Pada umumnya *hip bearing* pada sambungan tulang pinggul buatan 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 material *polyethylene* yang bersifat *viscoelastic* sebagai *hip bearing* sedangkan *femoral head* terbuat dari paduan logam yang disebut dengan *metal-on-polyethylene* (M-PE) atau terbuat dari keramik yang disebut dengan *ceramic-on-polyethylene* (C-PE) Material *viscoelastic* yang dipakai sebagai *hip bearing* pada sistem sambungan tulang pinggul buatan adalah *ultra-high molecular weight polyethylene* (UHMWPE). 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 adalah melalui *melt-annealing* yang bertujuan untuk menurunkan luas permukaan yang terdeformasi selama artikulasi. Proses tersebut kemudian dimodifikasi dengan melalui proses *crosslinked irradiation* pada UHMWPE material (Kurtz, 2009).

Geometri sambungan tulang pinggul buatan terdiri dari lima bagian yaitu *stem*, *femoral head*, *acetabular cup*, *semen* dan *shell*. Dari kelima bagian yang merupakan bagian kritis adalah *femoral head* dan *acetabular cup*. Hal ini dikarenakan pada bagian tersebut terjadi kontak dinamis antara dua bagian tersebut. Jenis material untuk *femoral head* umumnya terbuat dari logam seperti *cobalt-cromium* (CoCr), *stainless steel* (ST 316L), *titanium alloy* (Anonim, 2009) atau terbuat dari keramik seperti alumina dan zirkonia (Clarke, 2007).

Aspek tribologi yang banyak menyebabkan kegagalan sistem sambungan tulang pinggul buatan antara lain *wear*, *friction*, tekanan kontak dan tegangan yang berlebih. Tekanan kontak

sangat berpengaruh terhadap lama tidaknya mempercepat keausan dari permukaan kontak. Distribusi tekanan kontak yang terkonsentrasi akan mempercepat keausan dari permukaan kontak. Perancangan geometri dan material menentukan besar kecilnya tekanan kontak maksimum dan distribusi tekanan kontak. Kerusakan juga terjadi akibat pembebanan yang terlalu besar sehingga melebihi batas kemampuan yang bisa ditahan oleh sambungan tulang tersebut (Sugiyanto, 2010).

Pemakaian keramik sebagai *femoral head* mengalami kemajuan yang pesat. Hal tersebut dikarenakan keramik mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan material logam. Kelebihan tersebut diantaranya adalah mempunyai gesekan yang rendah, ketahanan aus yang tinggi dan mempunyai sifat *biocompatibility* yang baik (Manley, 2008). Dibandingkan dengan CoCr *head*, penggunaan alumina dapat mereduksi *linear wear* secara signifikan (Hendrich, 2007). Namun demikian masih ditemukan kelemahan-kelemahan dari pasangan *bearing* ini yakni timbulnya suara (*noise*) dan patah (*fracture*). (Manley, 2008). Belakangan ini penelitian juga diarahkan pada pengaruh diameter *bearing* terhadap tingkat keausannya. Ukuran diameter *bearing* yang besar terbukti mempunyai tingkat keausan yang lebih rendah dibanding dengan ukuran yang lebih kecil (Pandorf, 2007 dan Dalla, 2007). Sedangkan pengembangan pada material keramik mengarah pada penggunaan *new material ceramic formulations* yaitu *zirconia-toughened alumina matrix composite* (ZTAM), *oxidized zirconium composite* (OZC) dan *silicon nitride* (SN) (Manley, 2008).

Penelitian tentang material *highly crosslinked UHMWPE* telah banyak dikembangkan sebelumnya. Penelitian-penelitian tersebut umumnya bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari UHMWPE terutama pada ketahanan aus dari material tersebut. Kurtz, (2000) telah menganalisa perbedaan tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cups* pada material *crosslinked UHMWPE* 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 *crosslinked UHMWPE* dan konvensional

UHMWPE dimana pada *crosslinked UHMWPE* lebih kecil bila dibandingkan dengan konvensional UHMWPE. Aplikasi *highly crosslinked UHMWPE* material sebagai *hip bearing* pada *artificial hip joint system* mempunyai karakteristik yang lebih baik bila dibandingkan dengan konvensional UHMWPE (Ulrich, 2008). 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* (Winarso, 2010).

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cup* perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan *crosslinked UHMWPE* sebagai *acetabular cup*. Pemodelan *acetabular cups* dikembangkan kearah *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.

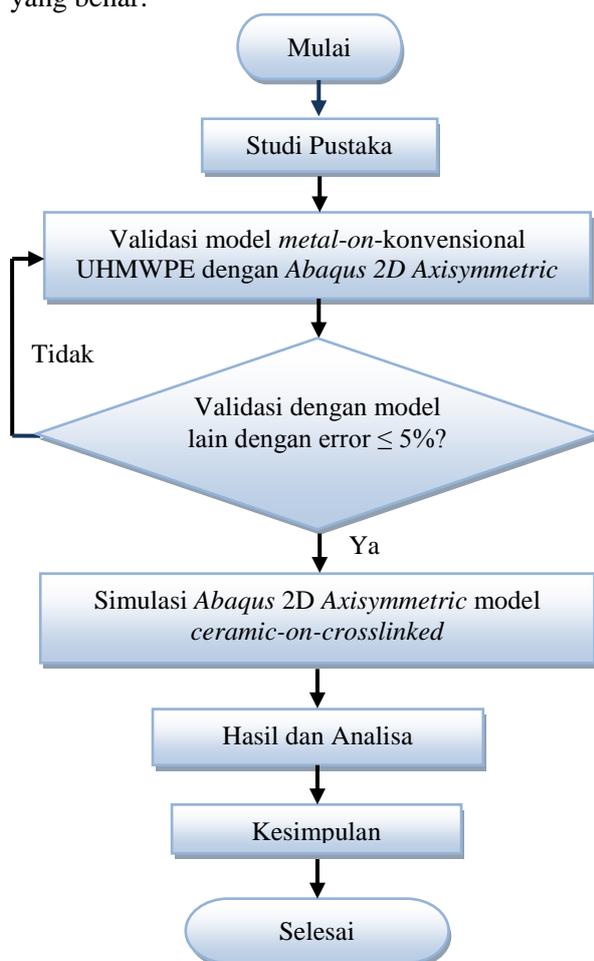
Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan *software* bantu Abaqus. Penelitian ini membuat pemodelan kasus kontak pada *hip joint sistem* yang menerima beban statik selama kurun waktu tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan *highly crosslinked UHMWPE* sebagai *acetabular cup* terhadap hasil distribusi tekanan kontak dan *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.

### Metodologi

Langkah awal dari penelitian ini adalah melakukan validasi terhadap model dari hasil penelitian sebelumnya. Proses validasi diperlukan guna menjamin bahwa pemodelan sudah dalam arah yang benar. Langkah selanjutnya adalah mengembangkan penelitian dengan mengaplikasikan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan

*crosslinked* UHMWPE sebagai *acetabular cup* pada *hip joint system*.

Pada Gambar 1. ini menjelaskan langkah-langkah penelitian dari mulai sampai dengan selesai. Langkah awal penelitian adalah studi pustaka yaitu mempelajari referensi-referensi baik dalam bentuk buku teks maupun jurnal-jurnal hasil penelitian yang relevan dengan tema penelitian yakni tentang sambungan tulang pinggul buatan. Pada studi pustaka juga ditentukan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan. Selain itu pada langkah ini juga dilakukan pendalaman terhadap jurnal-jurnal penelitian tentang sambungan tulang pinggul buatan dari model-model yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi dengan model yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. Bila hasil yang didapatkan telah sesuai dengan hasil penelitian tersebut, hal itu berarti prosedur pemodelan yang dilakukan sudah dalam arah yang benar.



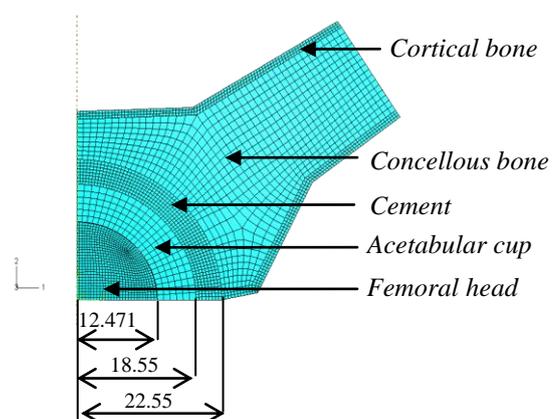
**Gambar 1.** Flowchart penelitian.

*Material properties* yang digunakan sebagai masukan dalam pemodelan pada *software* Abaqus dapat dilihat pada Tabel 1.

<i>Material</i>	<i>Young modulus [MPa]</i>	<i>Poisson's ratio (ν)</i>
ZTAM	360000	0.23
OZC	210000	0.23
<i>Silicon Nitride (SN)</i>	315000	0.23
<i>Crosslinked UHMWPE</i>	560	0.425
<i>Acrylic cement</i>	2270	0.23
<i>Concellous bone</i>	800	0.2
<i>Cortical bone</i>	17000	0.3

**Tabel 1** *Material properties*.

Selanjutnya melakukan mengembangkan dengan model yang sesuai dengan yang tema penelitian yang direncanakan. Apabila telah didapatkan hasil, selanjutnya hasil yang didapatkan dibahas sesuai dengan teori yang ada. Dari pembahasan ini maka didapatkan beberapa kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Dimensi pemodelan yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



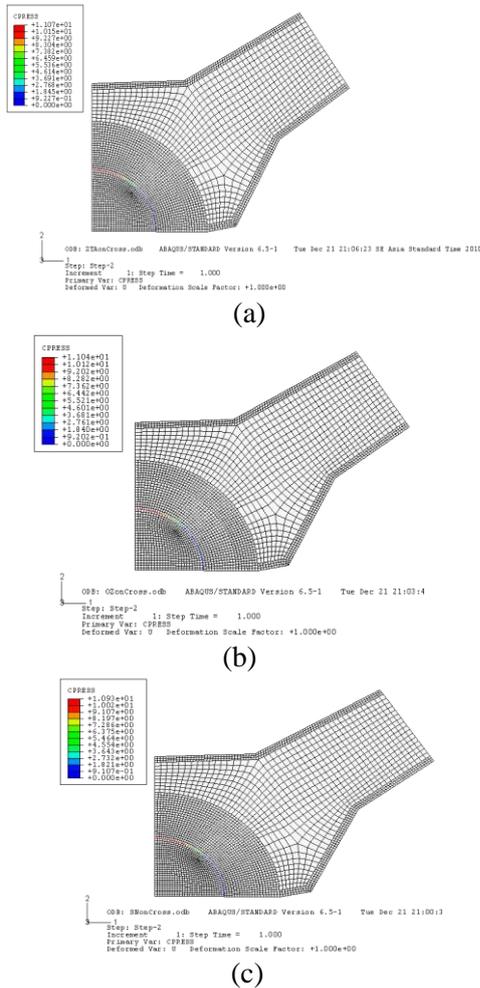
**Gambar 2.** Dimensi pemodelan dalam sambungan tulang pinggul buatan.

Pembebanan dilakukan pada titik pusat dari *femoral head* dan *acetabular cup* dengan mempertimbangkan *body mass index (BMI)* yang didasarkan pada ukuran *femoral head bone*. Besar pembebanan diberikan sebesar 1882 N untuk diameter *femoral head bone* rata-rata 45,1 mm (Lamvohee, 2006). Pemodelan dilakukan secara *linear elastic* dan *viscoelastic*, karena material *polyethylene* mempunyai sifat

viscoelastic, dengan pembebanan *ramp and hold* maka akan terjadi penurunan tegangan pada model. Beban yang diberikan untuk pemodelan viscoelastic adalah beban *static* dan waktu penahanan selama 300 detik. Kurun waktu yang diberikan adalah untuk mengetahui pengaruh sifat viscoelastic yang merupakan suatu fungsi waktu.

**Hasil dan Pembahasan**

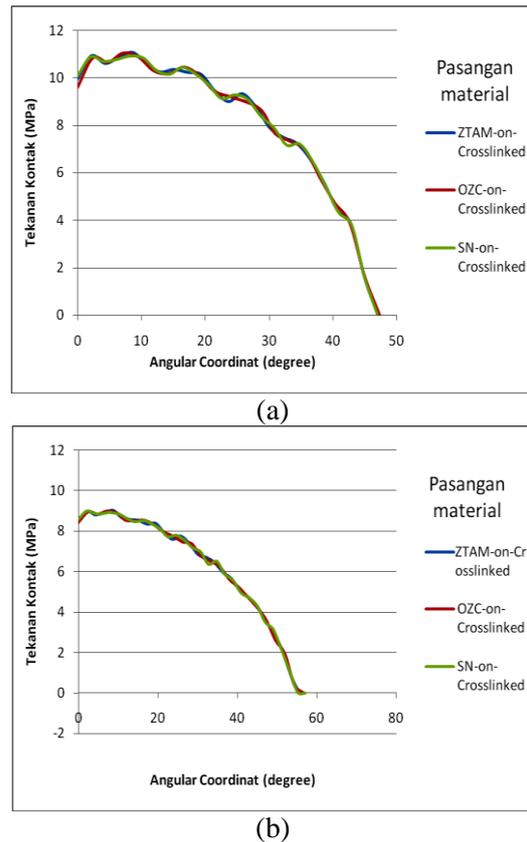
Gambar 3. (a, b, c) menunjukkan kontur tekanan kontak hasil pemodelan *ceramic-on-crosslinked UHMWPE*.



**Gambar 3.** Kontur tekanan kontak hasil pemodelan (a). ZTAM-crosslinked (b). OZC-on-crosslinked(c). SN-on-crosslinked.

Tekanan kontak hanya terjadi pada bagian permukaan kontak yaitu bagian permukaan kontak antara *femoral head* dan *acetabular cup*. Pada pemodelan kontak tulang pinggul buatan *ceramic-on-polyethylene* disimulasikan tiga pasangan material yang digunakan yaitu : ZTAM-on-crosslinked, OZC-on-crosslinked dan

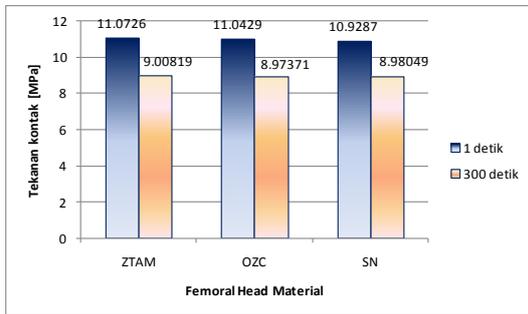
SN-on-crosslinked. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-polyethylene* menunjukkan bahwa besar tekanan kontak akan berkurang dengan semakin besarnya *angular koordinat*. Perbandingan distribusi tekanan kontak pada pasangan *ceramic-on-polyethylene* dapat dilihat pada Gambar 4.(a,b).



**Gambar 4.** Hubungan antara tekanan kontak dengan *angular coordinat* (a). waktu 1 detik (b). waktu 300 detik.

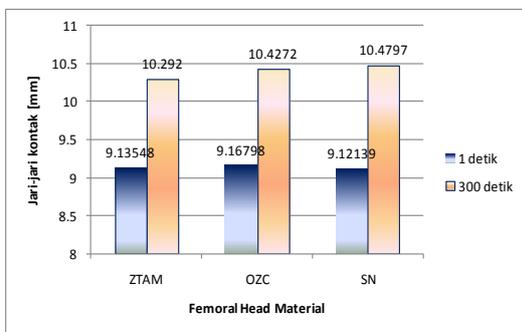
Berdasarkan gambar 4.(a,b) terlihat bahwa perbedaan meterial *femoral head* tidak berpengaruh pada tekanan kontak yang terjadi baik pada saat awal pembebanan ( $t = 1$  detik) maupun akhir pembebanan ( $t = 300$  detik). Hal tersebut dapat dilihat dari grafik yang berimpit baik pada saat awal maupun akhir pembebanan. ZTAM-on-crosslinked menghasilkan bentuk grafik yang berimpit dengan OZC-on-crosslinked dan SN-on-crosslinked baik pada saat awal maupun akhir pembebanan. Karena material *crosslinked* termasuk material viscoelastic, maka distribusi tekanan kontak akan berubah terhadap waktu. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Tekanan kontak maksimum yang terjadi pada tiap pasangan besarnya relatif sama satu dengan yang lain. Pasangan SN-on-

crosslinked terlihat lebih rendah dibandingkan dengan dua pasangan lainnya.



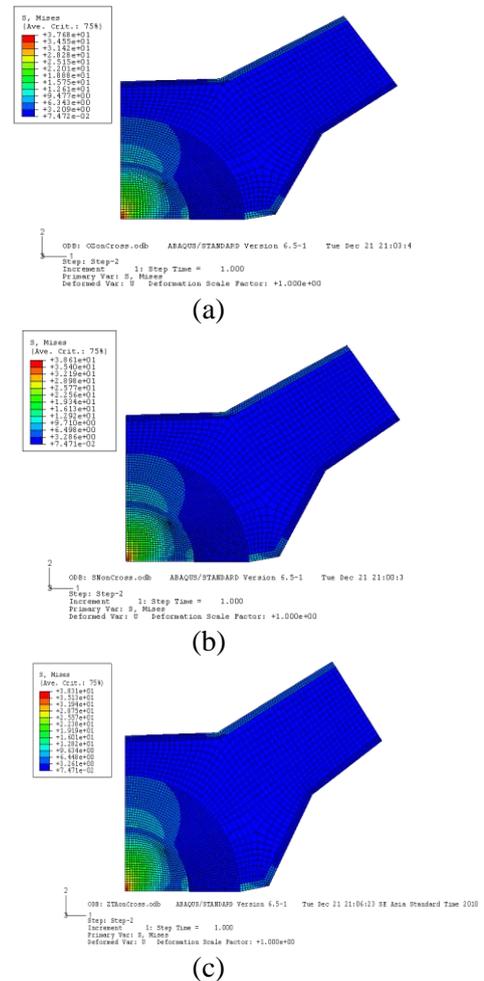
Gambar 5. Tekanan kontak maksimum tiap material.

Jari-jari kontak yang terjadi pada tiga pasangan ceramic-on-polyethylene besarnya juga relatif sama satu dengan yang lain. Dari Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa meskipun perbedaannya kecil, pada detik pertama besar jari-jari kontak dari pasangan SN-on-crosslinked mempunyai nilai yang lebih kecil bila dibandingkan dengan material lainnya. Besar jari-jari kontak akan mengalami peningkatan terhadap waktu, hal ini menunjukkan fenomena creep pada material viscoelastic ketika terjadi kontak dengan beban gaya konstan.



Gambar 6. Jari-jari kontak maksimum tiap material.

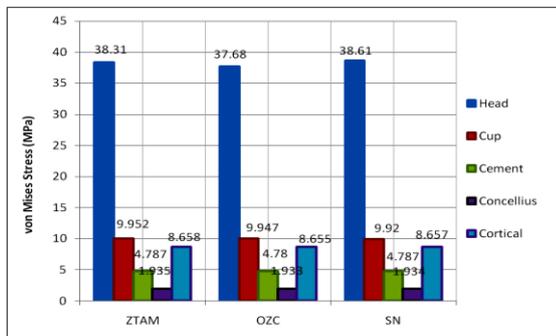
Gambar 7 menunjukkan kontur von Mises stress hasil pemodelan ceramic-on-crosslinked UHMWPE. Dari ketiga material terlihat von Mises stress maksimum terletak pada bagian ujung bawah dimana pada bagian ini merupakan bagian yang paling dekat dengan letak pembebanan. Ketiga kontur juga terlihat mirip antara satu dengan yang lainnya.



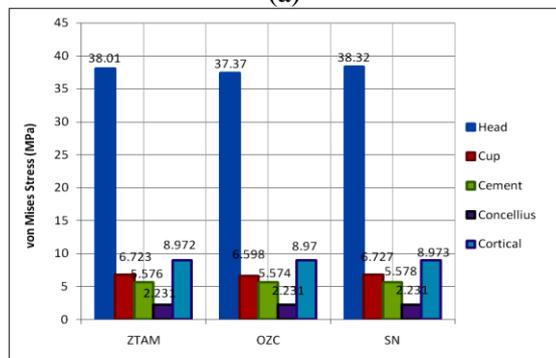
Gambar 7. Kontur von Mises stress hasil pemodelan (a). OZC-on-crosslinked (b). SN-on-crosslinked. (c). ZTAM-crosslinked.

Dari Gambar 8 menunjukkan bahwa untuk ceramic-on-polyethylene dapat diketahui von Mises stress terbesar terjadi pada bagian femoral head. Von Mises stress maksimum yang terjadi jauh lebih rendah daripada model hard-on-hard. Dari hasil pemodelan tersebut terlihat perbedaan besar von Mises stress dari ketiga pasangan tidak signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan material femoral head tidak berpengaruh secara signifikan terhadap von Mises stress. Meskipun perbedaannya kecil pasangan SN-on-crosslinked mengalami von Mises stress lebih rendah dibanding dengan dua pasangan material lainnya. Namun seperti halnya pada tekanan kontak, von Mises stress juga berubah terhadap waktu. Fenomena perubahan ini hanya terjadi pada bagian acetabular cup karena pada bagian ini material terbuat dari polyethylene yang bersifat viscoelastic. Pada bagian acetabular cup terjadi penurunan von Mises stress. Pada bagian

lainnya (*femoral head, cement, concellous bone dan cortical bone*) besar *von Mises stress* relatif tetap tidak terpengaruh oleh waktu (Gambar 8. a, b). Hal ini disebabkan karena hanya bagian *femoral head* yang bersifat *viscoelastic* sedangkan bagian yang lain bersifat *linear elastic*.



(a)



(b)

Gambar 8. Plot distribusi *von Mises stress* pada pemodelan *ceramic-on-crosslinked* pada (a). 1 detik, (b). 300 detik.

### Kesimpulan

Pada pemodelan kontak tulang pinggul buatan *ceramic-on-polyethylene* disimulasikan tiga pasangan material yang digunakan yaitu : *ZTAM-on-crosslinked, OZC-on-crosslinked dan SN-on-crosslinked*. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-polyethylene* akan berkurang dengan semakin besarnya *angular koordinat*. Perbedaan material *femoral head* tidak berpengaruh pada tekanan kontak yang terjadi baik pada saat awal pembebanan ( $t = 1$  detik) maupun akhir pembebanan ( $t = 300$  detik). Tekanan kontak maksimum yang terjadi pada tiap pasangan besarnya relatif sama satu dengan yang lain. Dari hasil pemodelan tersebut juga terlihat besar *von Mises stress* dari ketiga pasangan perbedaannya tidak signifikan. Namun besar tekanan kontak dan *von Mises stress* yang terjadi mengalami

perubahan terhadap waktu. Fenomena perubahan ini hanya terjadi pada bagian *acetabular cup* karena pada bagian ini material terbuat dari *polyethylene* yang bersifat *viscoelastic*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, *Biomaterials in Orthopaedic Surgery*, ASM International, 2009
- [2] Clarke, I.C., Green, D., Williams, P., Pezzotti, Donaldson, T., *Wear Performance of 36 mm Biolox forte / delta Hip Combinations Compared in Simulated 'Severe' Micro-Separation Test Mode, Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Proceedings, Seoul, Republic of Korea, 2007
- [3] Dalla, P., Pressacco, M., Benazzo, F., Fusi, S., *Evolution for Diameters Features and Results, Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Seoul, Republic of Korea, 2007
- [4] Hendrich, C., Wollmerstedt, N., Goebel, S., Martell, J.M., *Influence of the Wear-Couple and Patient Activity on Linear Wear in Total Hip Replacement, Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Proceedings, Seoul, Republic of Korea, 2007
- [5] Kurtz S.M., *UHMWPE Biomaterial Handbook*, Elsevier Inc, USA, 2009
- [6] Kurtz, S.M., Giddings, V., Muratoglu, O., O'Connor, D., Harris, W., Krevolin, J., *Stresses in a highly crosslinked acetabular component for total hip replacement, Orthopaedic Research Society, 46th Annual Meeting, Orlando, Florida, 2000*
- [7] Lamvohee, J.M.S., Mootanah, R., Ingle, P., Dowell, J., Cheah, K., *Optimum thickness of cement mantle for hip replacement patients with different acetabulae sizes, bone quality and body mass index, Bioengineering Research Group, Department of Design and Technology, Faculty of Science and Technology, Anglia Ruskin University, Bishop Hall Lane, Chelmsford, Essex, CM1 1SQ, UK, 2006*

- 
- [8] Manley M.T., Sutton, K., Bearings of the future for total hip arthroplasty, *The Journal of Arthroplasty*, Vol. 23 No. 7 Suppl. 1, Published by Elsevier Inc, 2008
- [9] Pandorf, T., Wear of large Ceramic Bearings”, *Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Seoul, Republic of Korea, 2007
- [10] Sugiyanto, Tauviqirrahman, M., Ismail, R., Jamari, Ansori, C., Analisa Pengaruh Ketebalan Acetabular Cup terhadap Tekanan Kontak pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010*, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang, 2010
- [11] Ulrich G., Christian U., 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, 2008
- [12] Winarso, R., Aplikasi Highly Crosslinked UHMWPE pada Artificial Hip Joint System menggunakan Metode Elemen Hingga, *Journal of Science and Technology*. Official Journal of Research Institution of Muria Kudus University – ISSN 1979.6870, 1, Vol. 3, Juni 2010, 21-31, 2010