

ANALISA *CERAMIC-ON-CERAMIC* PADA SAMBUNGAN TULANG PINGGUL BUATAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Rochmad Winarso¹ Jamari Ismoyo, Haryanto²

ABSTRACT

Stress analysis occurs in acetabular cups need to be developed by applying new ceramic material formulations as the femoral head and the acetabular cup. This study uses the finite element method with finite element software. The purpose of this study was to observe the effect of new formulations of ceramic materials as the femoral head and the acetabular cup respect the contact pressure distribution and the von Mises stress that occurs in the system of artificial joints if given a static load for a certain period of time. The result is expected to be developed again to optimization design of artificial hip joints. The results of this study indicate that the contact pressure distribution in ceramic-on-ceramic will be reduced by increasing the amount of angular coordinates. The contact pressure, the radius of contact, von Mises stress and max. principal stress that occurs in each pair is different. Von Mises stress maximum and max. principal stress occurs in the acetabular cup. The pair of ZTAM-on-ZTAM experiencing the largest contact pressure and the pair of SN-on-OZC experienced the smallest contact pressure. Von Mises stress and max. largest principal stress occurs on the pair of ZTAM-on-ZTAM while the von Mises stress and max. smallest principal stress occurs on the pair of OZC-on-OZC.

Key words: *ceramic-on-ceramic, artificial hip joints, finite element method, von Mises stress*

ABSTRAK

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cups* perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan sebagai *acetabular cup*. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan *finite element software*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan 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. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-ceramic* akan berkurang dengan semakin besarnya *angular coordinat*. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-ceramic* akan berkurang dengan semakin besarnya *angular koordinat*. besar tekanan kontak, jari-jari kontak, tegangan

¹ Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

² Departement of Mechanical Engineering, University of Diponegoro

von Mises dan *max. principal stress* yang terjadi pada tiap-tiap pasangan berbeda. Tegangan *von Mises* maksimum dan *max. principal stress* terjadi pada bagian *acetabular cup*. Pasangan ZTAM-on-ZTAM mengalami tekanan kontak terbesar dan pasangan SN-on-OZC mengalami tekanan kontak terkecil. Tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terbesar terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM sedangkan tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terkecil terjadi pada pasangan OZC-on-OZC.

Kata kunci: *ceramic-on-ceramic*, sambungan tulang pinggul buatan, metode elemen hingga, tegangan *von Mises*.

PENDAHULUAN

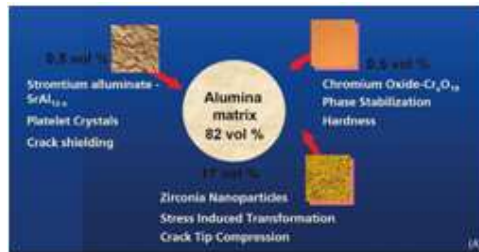
Pada umumnya *hip bearing* pada sambungan tulang pinggul buatan diklasifikasikan menjadi (1) *hard-on-hard material* seperti *metal-on-metal* (MOM), *ceramic-on-ceramic* (COC) dan dikembangkan juga *ceramic-on-metal* (COM) dan (2) *hard-on-soft material* dengan menggunakan material *polyethylene* yang 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).

Ceramic digunakan untuk material sambungan tulang pinggul buatan pertama diproduksi di Eropa dan Jepang. Di Perancis, pertama kali tercatat penggunaan COC pada tahun 1971 dan 1972. Tahun 1977, di Shikita, Jepang, diperkenalkan untuk pertama kali penggunaan alumina sebagai *femoral head* dan UHMWPE sebagai *acetabular cup*. Desain pertama dari COC adalah *femoral head* menggunakan alumina keramik (Al_2O_3), demikian juga untuk *acetabular cup*. Tetapi *femoral stem* menggunakan CoCr. Desain ini dikembangkan oleh Sedel di Paris, dan Mittelmeier di Jerman. Semula fiksasi yang digunakan adalah menggunakan *screw*, tanpa menggunakan semen. Tahun 1980an, *ceramic* sudah menggunakan semen yang di perkenalkan oleh Mittelmeier. Model Mittelmeier inilah yang dari tahun 1980 banyak digunakan. Gesekan yang rendah, ketahanan aus yang tinggi, dan mempunyai biokompatibel yang baik menjadikan *alumina-on-alumina bearing* layak menjadikannya sebagai pilihan (Kurtz, S.M., 2009). Berdasarkan kajian secara klinis untuk material ini mengindikasikan bahwa pasangan *bearing* ini merupakan pilihan yang tepat untuk pasien yang berusia muda dan sangat aktif. Namun demikian masih ditemukan kelemahan-kelemahan dari pasangan bearing ini yakni timbulnya suara (*noise*) dan patah (*fracture*). (Manley, M.T., 2008). Belakangan ini penelitian juga diarahkan pada pengaruh diameter *bearing* terhadap tingkat keausannya. Ukuran diameter *bearing* yang besar terbukti

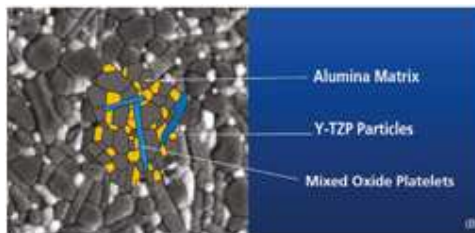
mempunyai tingkat keusan yang lebih rendah dibanding dengan ukuran yang lebih kecil (Pandorf, T., 2007 dan Dalla, P., 2007). Sedangkan pengembangan pada material keramik mengarah pada penggunaan *new material ceramic formulations* yaitu *zirconia-toughened alumina matrix composite* (ZTAM), *oxidized zirconium composite* (OZC) dan *silicon nitride* (SN) (Manley, M.T., 2008).

a. *Zirconia-toughened alumina matrix composite*

Zirconia-toughened alumina matrix composite merupakan satu jenis keramik yang terdiri dari 82% alumina matrik yang di *reinforced zirconia* 17%, *strontium aluminate* 0.5%, dan *chromium oxide* 0.5%. Kelebihan dari material ini adalah mempunyai kekuatan, ketangguhan dan ketahanan aus yang lebih tinggi dari alumina. Komposisi kimia dan mikrostruktur dari material ini pada Gambar 2.3.



(a)



(b)

Gambar 1. Komposisi kimia (A) dan mikrostruktur (B) dari *zirconia-toughened alumina matrix composite* (Kurtz, S.M., 2009).

b. *Oxidized zirconium composite*

Oxidized zirconium composite atau di pasaran yang dikenal dengan nama OXINIUM merupakan keramik yang terbuat dengan memanaskan paduan zirconium. Fase dari material ini terdiri dari 95% *monoclinic* stabil. Material ini terdiri dari paduan *zirconium* dan 2.5% *niobium* (Ries, M.D., 2006).

c. *Silicon nitride*

Silicon nitride (Si₃N₄) adalah merupakan pendatang baru dalam *hard-on-hard hip bearing*. Material ini mempunyai modulus elastisitas 315 GPa dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari pada alumina. Keramik ini terdiri dari 90% Si₃N₄ bubuk (mempunyai ukuran partikel of 0.5 μm), 6% yttrium oxide (Y₂O₃) dan 4% alumina (Al₂O₃). Pada pengujian keausan untuk COM dan COC *bearing* pada hip simulator menunjukkan hasil laju keausan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *alumina-on-alumina*.

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-crom* (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 kontakannya. 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*

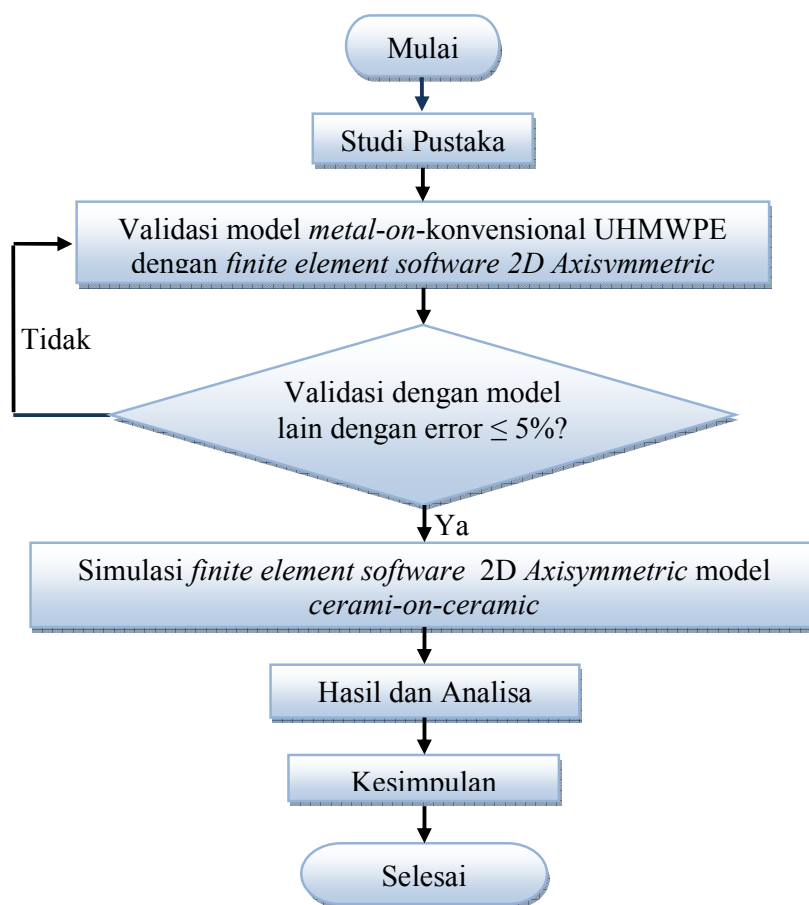
ceramic formulations yaitu *zirconia-toughened alumina matrix composite (ZTAM)*, *oxidized zirconium composite (OZC)* dan *silicon nitride (SN)* (Manley, 2008).

Analisa tegangan yang terjadi pada permukaan *acetabular cups* perlu terus dikembangkan dengan mengaplikasikan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan sebagai *acetabular cup*. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan *finite element software*. Penelitian ini membuat pemodelan kasus kontak pada *hip joint system* yang menerima beban statik selama kurun waktu tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *new material ceramic formulations* sebagai *femoral head* dan 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 sebagai *acetabular cup* pada *hip joint system*.

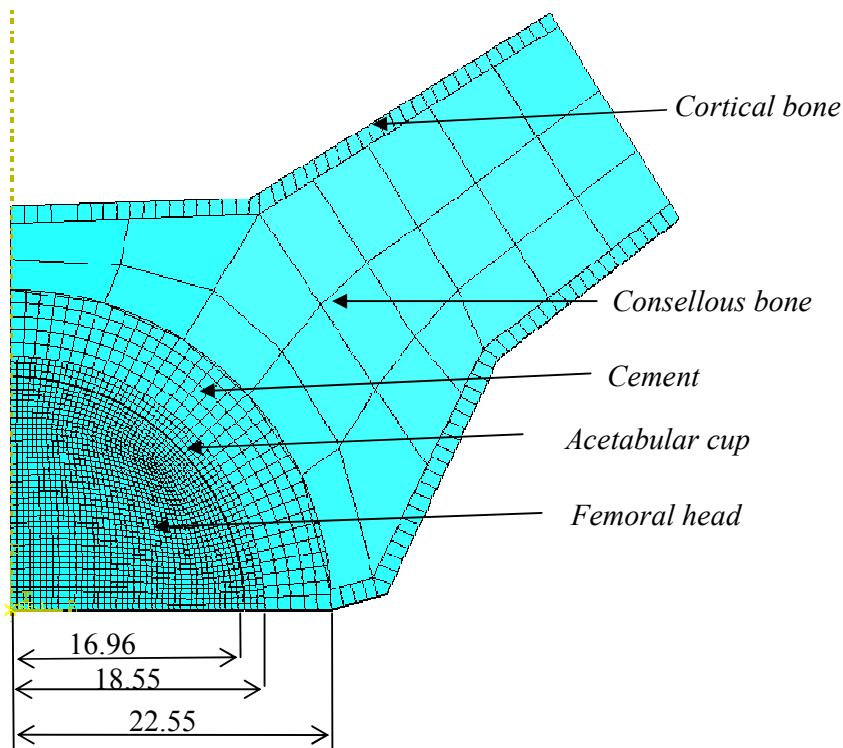
Pada Gambar 1. ini menjelaskan langkah-langkah penelitian dari mulai sampai dengan selesai. Langkah awal penelitian adalah studi pustaka yaitu mempelajari referensi-referensi baik dalam bentuk buku teks maupun jurnal-jurnal hasil penelitian yang relevan dengan tema penelitian yakni tentang sambungan 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 2. Flowchart penelitian

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.

Material properties yang digunakan sebagai masukan dalam pemodelan di *finite element software* dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi pemodelan yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 3. Dimensi pemodelan dalam sambungan tulang pinggul buatan

Tabel 1 *Material properties.*

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

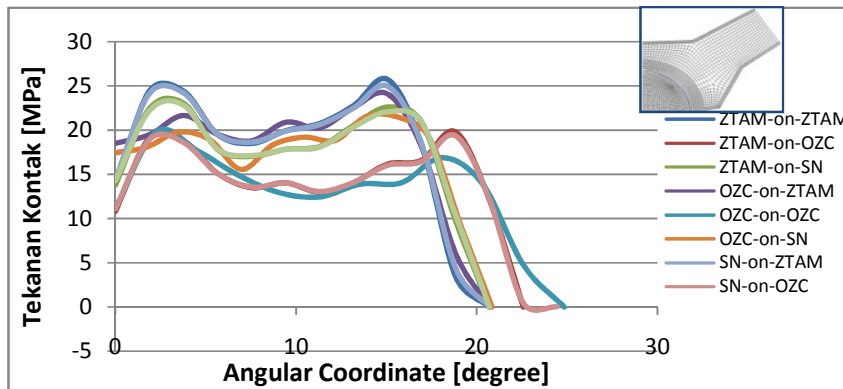
Pembebanan dilakukan pada titik pusat dari *femoral head* dan *acetabular cup* dengan mempertimbangkan *body mass index* (BMI) yang didasarkan pada ukuran *femoral head bone*. Besar pembebanan diberikan sebesar 1882 N untuk diameter *femoral head bone* rata-rata 45,1

mm (Lamvohee, 2006). Pemodelan dilakukan secara *linear elastic*. Beban yang diberikan untuk pemodelan *linear elastic* adalah beban *static* dan waktu penahanan selama 1 detik.

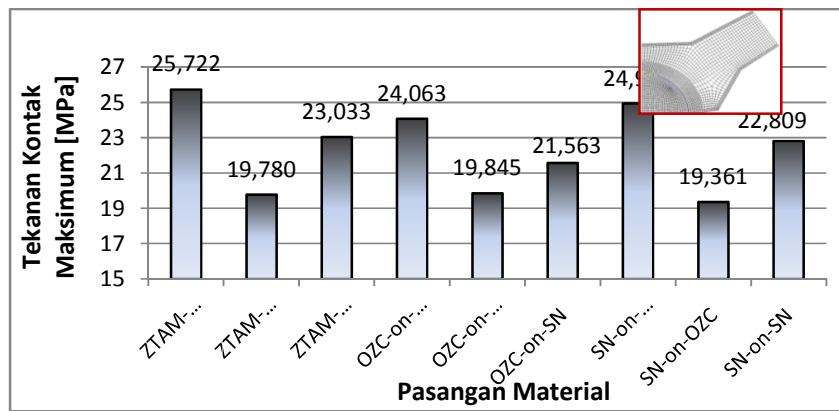
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pemodelan kontak tulang pinggul buatan *ceramic-on-ceramic* disimulasikan sembilan pasangan material yang digunakan yaitu : ZTAM-on-ZTAM, ZTAM-on-OZC, ZTAM-on-SN, OZC-on-ZTAM, OZC-on-OZC, OZC-on-SN, SN-on-ZTAM, SN-on-OZC dan SN-on-SN. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-ceramic* mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil distribusi kontak pada simulasi dari pasangan material sebelumnya yaitu menyerupai pelana kuda. Hasil tersebut juga mempunyai trend yang sama dengan hasil penelitian Yew, A., et al.,(2003) dan Ansori, C., (2010) Perbandingan distribusi tekanan kontak pada permukaan antar pasangan material dapat dilihat pada Gambar 4.

Tekanan kontak maksimum yang terjadi pada tiap pasangan besarnya juga bervariasi satu dengan yang lain. Variasi besar tekanan kontak maksimal yang terjadi pada tiap pasangan seperti pada Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa besar tekanan kontak maksimum dan minimum yang terjadi perbedaannya cukup signifikan yaitu sebesar 32,86%. Tekanan kontak maksimum terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM yaitu sebesar 25,722 MPa dan tekanan kontak minimum terjadi pada pasangan SN-on-OZC yaitu sebesar 19,361 MPa.

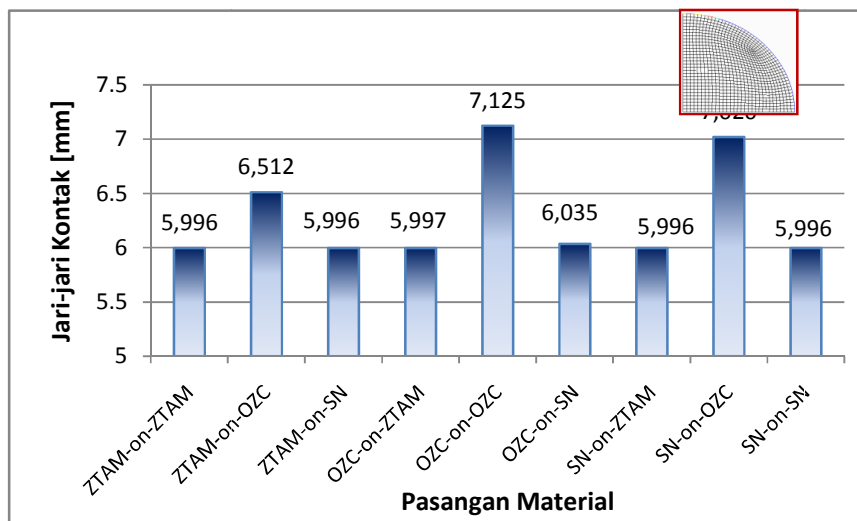


Gambar 4. Distribusi tekanan kontak pada *ceramic-on-ceramic*.



Gambar 5. Tekanan kontak maksimum pada *ceramic-on-ceramic*.

Jari-jari kontak yang terjadi pada sembilan pasangan *ceramic-on-metal* besarnya juga bervariasi satu dengan yang lain. Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa besar jari-jari kontak maksimum dan minimum yang terjadi perbedaannya juga cukup signifikan yaitu sebesar 18,84%. Jari-jari kontak terbesar terjadi pada pasangan OZC-on-OZC yaitu sebesar 7,1253 mm dan jari-jari kontak terkecil terjadi pada lima pasangan yaitu ZTAM-on-ZTAM, ZTAM-on-SN, OZC-on-ZTAM, SN-on-ZTAM dan SN-on-SN sebesar 5,99 mm.

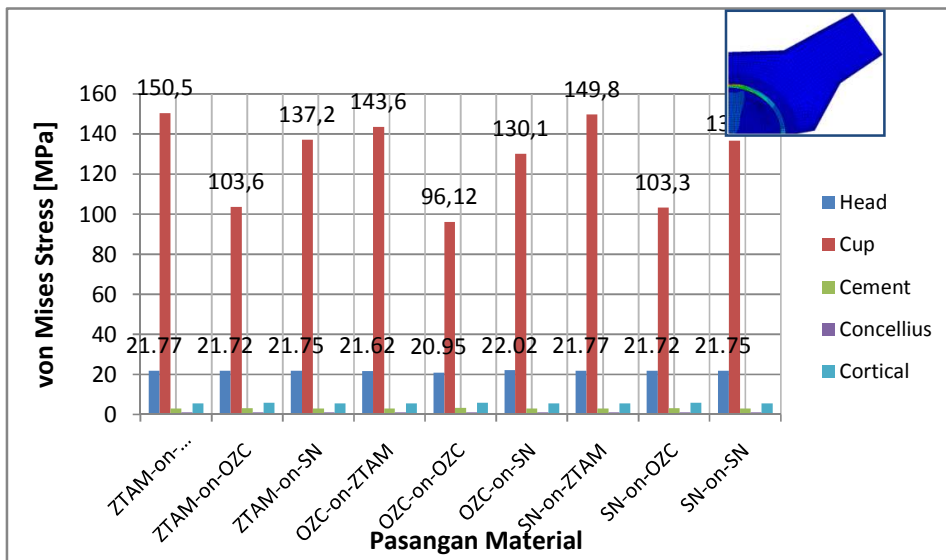


Gambar 6 Jari-jari kontak maksimum pada *ceramic-on-ceramic*.

Variasi besar tegangan *von Mises* di tiap bagian yang terjadi pada *ceramic-on-ceramic* seperti pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa untuk *ceramic-on-ceramic* dapat diketahui tegangan *von Mises* terbesar terjadi pada bagian *acetabular cup*. Sama dengan distribusi tegangan *von Mises* sebelumnya, pada bagian ini besar tegangan *von Mises* maksimum dan minimum yang terjadi perbedaannya cukup signifikan, yaitu sebesar 56,58%.

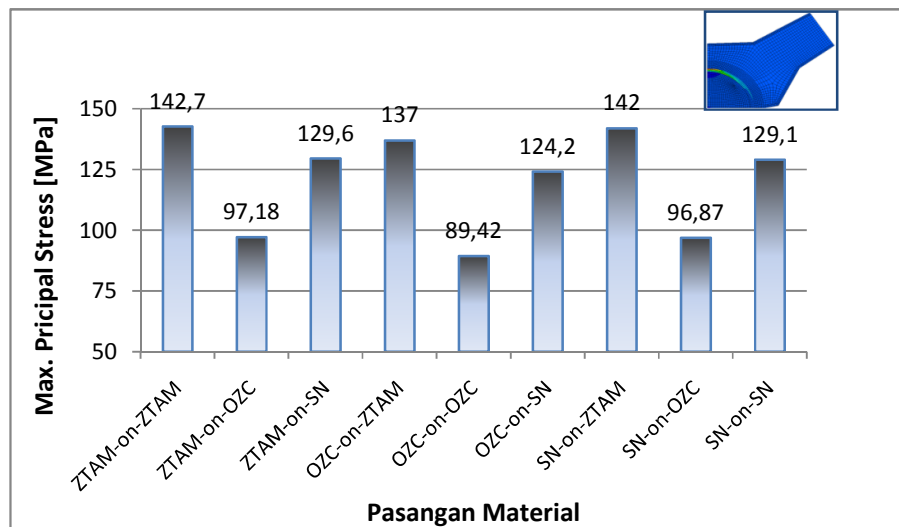
Pada bagian *acetabular cup* tegangan *von Mises* maksimum terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM yaitu sebesar 150,5 MPa dan tegangan *von Mises* minimum terjadi pada pasangan OZC-on-OZC yaitu 96,12 MPa.

Pada bagian *femoral head*, besar tegangan *von Mises* maksimum dan minimum yang terjadi pada tiap pasangan material perbedaannya kecil yaitu sebesar 5,11%. Pada bagian ini tegangan *von Mises* maksimum terjadi pada pasangan OZC-on-SN yaitu sebesar 22,02 MPa dan tegangan *von Mises* minimum terjadi pada pasangan OZC-on-OZC yaitu 21,95 MPa. Pada bagian lainnya yaitu semen, *concellous bone* dan *cortical bone*, besar tegangan *von Mises* yang terjadi jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan yang terjadi pada *acetabular cup* dan *femoral head*. Pada bagian tersebut, besar tegangan *von Mises* maksimum dan minimum yang terjadi pada tiap pasangan material perbedaannya juga relatif kecil yaitu rata-rata sebesar 7,38%. Besar rata-rata tegangan *von Mises* yang terjadi pada bagian semen adalah sebesar 3,09 MPa, pada bagian *concellous bone* sebesar 1,02 MPa dan pada bagian *cortical bone* sebesar 5,64 MPa.



Gambar 7. *von Mises stress* tiap bagian pada *ceramic-on-ceramic*.

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui bahwa tegangan terbesar akan terjadi pada bagian *acetabular cup*. Mengingat bagian tersebut terbuat dari material keramik yang bersifat *brittle* maka analisis tegangan yang paling sesuai untuk material tersebut adalah *max. principal stress*. *Max. principal stress* maksimum terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM yaitu sebesar 142,7 MPa dan *max. principal stress* minimum terjadi pada pasangan OZC-on-OZC yaitu sebesar 89,42 MPa (Gambar 8).



Gambar 8. Max. principal stress pada ceramic-on-ceramic.

Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa besar tekanan kontak, jari-jari kontak, tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* yang terjadi pada tiap-tiap pasangan berbeda. Tegangan *von Mises* maksimum dan *max. principal stress* terjadi pada bagian *acetabular cup*. Pasangan ZTAM-on-ZTAM mengalami tekanan kontak terbesar dan pasangan SN-on-OZC mengalami tekanan kontak terkecil. Tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terbesar terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM sedangkan tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terkecil terjadi pada pasangan OZC-on-OZC.

KESIMPULAN

Pada pemodelan kontak tulang pinggul buatan *ceramic-on-ceramic* disimulasikan sembilan pasangan material yang digunakan yaitu : ZTAM-on-ZTAM, ZTAM-on-OZC, ZTAM-on-SN, OZC-on-ZTAM, OZC-on-OZC, OZC-on-SN, SN-on-ZTAM, SN-on-OZC dan SN-on-SN. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak yang terjadi pada *ceramic-on-ceramic* akan berkurang dengan semakin besarnya *angular koordinat*. besar tekanan kontak, jari-jari kontak, tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* yang terjadi pada tiap-tiap pasangan berbeda. Tegangan *von Mises* maksimum dan *max. principal stress* terjadi pada bagian *acetabular cup*. Pasangan ZTAM-on-ZTAM mengalami tekanan kontak terbesar dan pasangan SN-on-OZC mengalami tekanan kontak terkecil. Tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terbesar terjadi pada pasangan ZTAM-on-ZTAM sedangkan tegangan *von Mises* dan *max. principal stress* terkecil terjadi pada pasangan OZC-on-OZC.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2009, *Biomaterials in Orthopaedic Surgery*, ASM International.
- Clarke. I, C., Green. D., Williams. P., Pezzotti, Donaldson.T., 2007, 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.
- Dalla. P., Pressacco. M., Benazzo. F., Fusi. S., 2007, Evolution for Diameters Features and Results, *Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Seoul, Republic of Korea.
- Hendrich. C., Wollmerstedt. N., Goebel. S., Martell. J.M., 2007, 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.
- Kurtz S.M., 2009, *UHMWPE Biomaterial Handbook*, Elsevier Inc, USA.
- Kurtz, S.M., Giddings, V., Muratoglu, O., O'Connor, D., Harris, W., Krevolin, J., (2000), “Stresses in a highly crosslinked acetabular component for total hip replacement”, *Orthopaedic Research Society*, 46th Annual Meeting, Orlando, Florida.
- Lamvohee, J.M.S., Mootanah, R., Ingle, P., Dowell, J., Cheah, K., (2006), “Optimum thickness of cement mantle for hip replacement patients with different acetabulae sizes, bone quality and body mass index” Anglia Ruskin University, Bioengineering Research Group, Department of Design and Technology, Faculty of Science and Technology, Bishop Hall Lane, Chelmsford, Essex, CM1 1SQ, UK.
- Manley M.T., Sutton, K., 2008, “Bearings of the future for total hip arthroplasty”, *The Journal of Arthroplasty*, Vol. 23 No. 7 Suppl. 1, Published by Elsevier Inc.
- Pandorf, T., (2007), “Wear of large Ceramic Bearings”, *Bioceramics and alternative Bearing in Joint Anthroplasty*, 12th BIOLOX® Symposium Seoul, Republic of Korea.
- Sugiyanto, Tauviquirrahman, M., Ismail, R., Jamari, Ansori, C., (2010), “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.

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, 0569 Stuttgart, Germany.