

# Shape and Geometry of Hip Stem Prosthesis Produced by Topology Optimization: Evaluation of Pre-reconstruction

Syifaul Huzni<sup>1\*</sup>, Syarizal Fonna<sup>1</sup>, M. Ilham Tanamas<sup>1</sup>, Ikramullah<sup>1</sup> dan A.K. Ariffin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

<sup>2</sup>Centre for Integrated Design for Advanced Mechanical Systems (PRISMA), Universiti Kebangsaan Malaysia

\*Corresponding author: syifaul@unsyiah.ac.id

**Abstract.** Qualitative evaluation of the results of optimization of the shape and geometry of hip stem prosthesis using topology optimization based on finite element analysis is presented in this study. Topology optimization is carried out by using ANSYS software on an Anatomic Medullary Locking (AML) type of prosthesis. The relationship between mesh parameters (fine, medium and coarse) in finite element analysis and percent to retain (PtR) parameters in topology optimization to the final shape of the optimization results are studied in this research. The results found indicate that, the surface of the results of optimization of the hypothesis is strongly influenced by the mesh size used. The coarser mesh size, the more triangulated surface produced will also be coarser. This will make it more difficult for the reconstruction process to get shapes that can be manufactured. In addition, a rough mesh will also cause the amount of volume wasted during topology optimization also more, even at the same PtR, so the final results obtained are not so good. The use of fine mesh gives the best results when compared to two other mesh sizes namely medium and coarse.

**Abstrak.** Evaluasi secara kualitatif terhadap hasil optimasi bentuk dan geometri *hip stem prosthesis* dengan menggunakan topology optimization berbasis analisis elemen hingga dipaparkan dalam kajian ini. *Topology optimization* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS terhadap *prosthesis* jenis *Anatomic Medullary Locking* (AML). Keterkaitan antara parameter *mesh* (*fine*, *medium* dan *coarse*) dalam analisis elemen hingga dan parameter *percent to retain* (PtR) dalam *topology optimization* terhadap bentuk akhir hasil optimasi dipelajari dalam kajian ini. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa permukaan prosthesis hasil optimasi sangat dipengaruhi oleh ukuran *mesh* yang digunakan. Semakin kasar ukuran *mesh* maka *triangulated surface* yang dihasilkan juga akan semakin kasar. Hal ini akan lebih menyulitkan proses *reconstruction* untuk mendapatkan bentuk yang dapat dimanufaktur. Selain itu, *mesh* yang kasar juga akan menyebabkan jumlah volume yang terbuang selama *topology optimization* juga lebih banyak, bahkan pada PtR yang sama, sehingga hasil akhir yang diperoleh tidak dapat digunakan. Penggunaan *fine mesh* memberikan hasil yang terbaik bila dibanding dua ukuran *mesh* lainnya yaitu *medium* dan *coarse*.

**Kata kunci:** *topology optimization*, analisis elemen hingga, *hip stem prosthesis*, pra rekonstruksi.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Penggunaan *computational tools* dalam proses optimasi bentuk dan ukuran suatu struktur sudah lazim dilakukan dewasa ini. Salah satu metode numerik yang sangat banyak digunakan dalam proses optimasi struktur adalah *finite element method* (metode elemen hingga). Beberapa peneliti sebelumnya, telah menggunakan metode ini sebagai basis dalam proses optimasi struktur yang dikembangkan [1, 2].

Tiga metode optimasi berbasis hasil analisis elemen hingga yang digunakan untuk struktur adalah *size optimization*, *shape optimization* dan *topology optimization*. Dari segi penggunaan, ketiga metode tersebut memiliki tujuan yang berbeda. *Size optimization* biasanya digunakan untuk menentukan

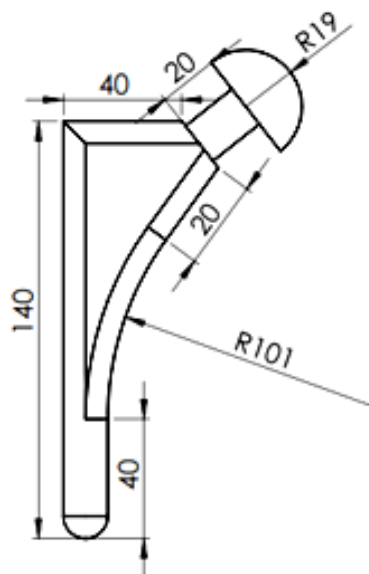
ketebalan ideal bahan berdasarkan tujuan kinerja dan kekuatan yang diharapkan ditempatkan pada komponen selama masa pakainya. *Shape optimization* digunakan untuk menemukan bentuk yang optimal dengan meminimalkan biaya fungsional, namun tetap memenuhi constraint yang diberikan. Topology optimization berbeda dari *size optimization* dan *shape optimization* dalam arti bahwa desain dapat mencapai bentuk apa pun dalam ruang desain yang disediakan.

Dibidang medis, aplikasi metode optimasi dalam mendesain produk seperti prosthesis juga sudah banyak dilakukan, termasuk optimasi terhadap hip stem prosthesis, khususnya dengan menggunakan teknik topooogy optimization. Beberapa aplikasi berbasis komputer dapat digunakan untuk

mempercepat proses optimasi yang dilakukan. Setiap program aplikasi telah mengembangkan algoritma masing-masing untuk dapat menghasilkan bentuk dan geometri yang terbaik. Walaupun demikian, produk hasil optimasi tersebut perlu terlebih dahulu dievaluasi sebelum direkonstruksi sehingga dapat dilakukan proses manufaktur. Oleh karena itu, paper ini membahas secara kualitatif hasil optimasi terhadap *hip stem prosthesis* dengan menggunakan *topology optimization* berbasis pada finite element analysis.

**Metode**

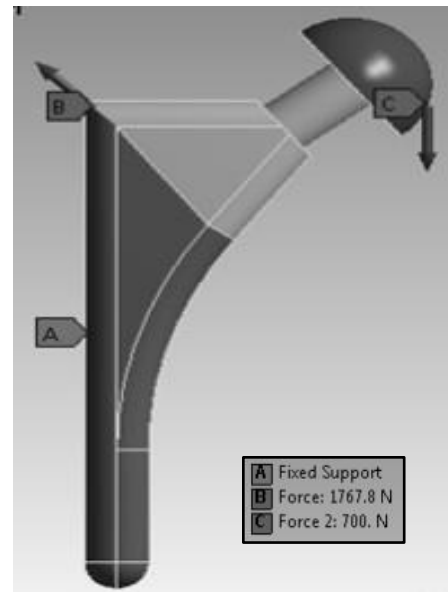
**Model, Geometri dan Material.** Dimensi prosthesis yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada dimensi yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya, yaitu data antropometri tubuh manusia masyarakat Indonesia yang memiliki umur antara 22–50 tahun. Penelitian sebelumnya tersebut telah menganalisis tingkat keamanan *hip stem prosthesis* jenis Anatomic Medullary Locking menggunakan geometri yang disesuaikan untuk postur tubuh masyarakat Indonesia dengan panjang *stem* 140 mm, diameter *ball head* 38 mm dan ketebalan ekstrusi sebesar 15 mm [3]. Detail untuk dimensi model yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Pemberian *load*/beban pada analisis statis untuk kondisi berdiri dalam Gambar 2, dengan besar komponen *force* untuk kondisi berdiri sebesar  $F_x = 0\% BW$ ;  $F_y = -100\% BW$ ;  $F_z = 0\% BW$ , dimana *body weight* (BW) yang dipilih adalah 70 kg [4,5].



**Gambar 1.** Geometry of prosthesis

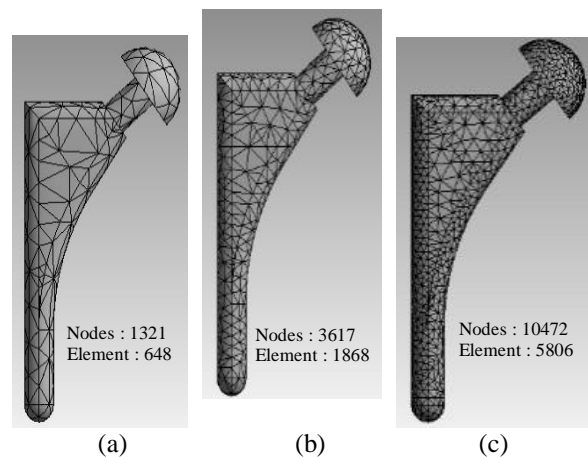
*Material properties* yang digunakan dalam analisis elemen hingga untuk *hip stem prosthesis* yang digunakan mengacu kepada material *titanium*

*alloy Ti-6Al-4V*, dengan *poisson ratio* ( $\nu$ ) = 0.342, modulus elastitas ( $E$ ) = 113.8 GPa [6]. Kondisi batas dan pembebanan yang digunakan disesuaikan untuk kondisi berdiri sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Kondisi batas

**Finite element Analysis.** Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS. Tipe *mesh* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *tetrahedrons* dengan tiga yang diuji yaitu ukuran *fine* (3mm), *medium* (5mm), dan *coarse* (10mm). Hasil *mesh* pada *hip stem prosthesis* dapat dilihat pada Gambar 3.



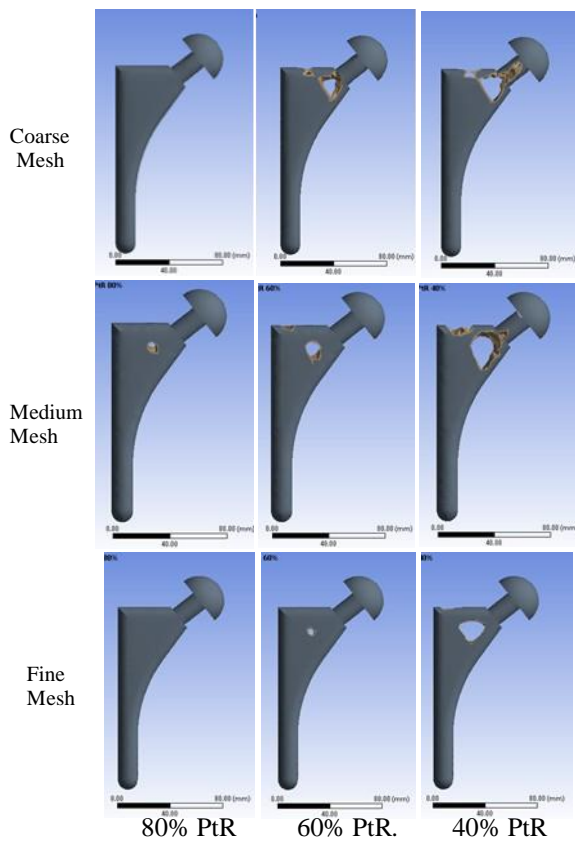
**Gambar 3.** Susunan mesh (a) coarse, (b) medium dan (c) fine

**Topology Optimization.** Parameter kontrol yang digunakan dalam proses *topology optimization* adalah *Percent to retain* (PtR). Tiga variasi PtR dipilih yaitu 40%, 60% dan 80% dengan *minimize compliance* sebagai *objective*. *Percent to retain* ini menunjukkan total cakupan area yang akan di-

remove dalam rangka mendapatkan bentuk yang optimal.

**Hasil dan pembahasan.**

**Pengaruh mesh size terhadap bentuk akhir.** Hasil simulasi menunjukkan bahwa *mesh size* dapat mempengaruhi hasil akhir yang diperoleh, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4. Proses *removing* terjadi di kawasan yang ditetapkan berdasarkan *level stress* yang terjadi. Bahagian yang mengalami *stress* rendah akan di *remove element by element*. Besaran area yang akan di *remove* bergantung pada *percent to retain* (PtR) yang ditetapkan, dalam hal ini 80%, 60% dan 40%. Dari Gambar 4 dapat dilihat secara visual bahwa *mesh size* berukuran *fine* memberikan permukaan dengan topografi yang paling halus. Selanjutnya pembahasan hanya akan difokuskan pada hasil optimasi dengan *mesh size* berukuran *fine*

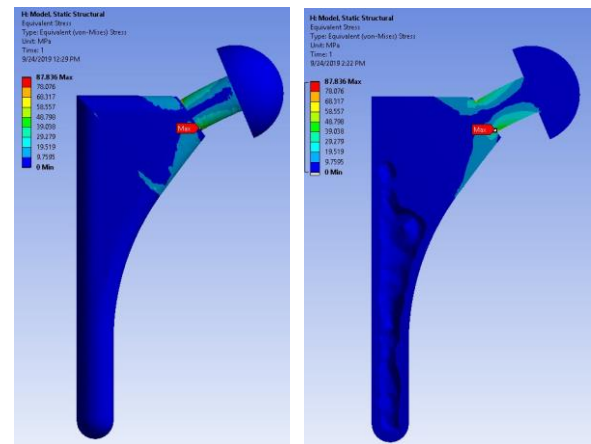


**Gambar 4.** Hasil optimasi bentuk dan geometri pada variasi mesh dan PtR

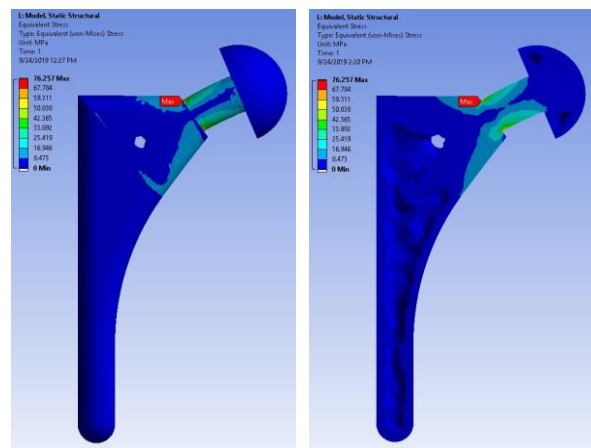
**Tegangan Von-mises pada Optimized Model Yang Menggunakan Mesh Size Berukuran Fine.** Produk akhir hasil topology optimization dengan menggunakan *mesh size* berukuran *fine* selanjutnya di analisis kembali dengan *software* aplikasi ANSYS untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada produk hasil *topology optimization* tanpa dilakukan rekonstruksi terhadap bentuk dan

geometrinya. Distribusi tegangan *von Mises* pada bagian luar dan potongan geometri *hip stem prosthesis* hasil optimasi ditunjukkan dalam Gambar 5.

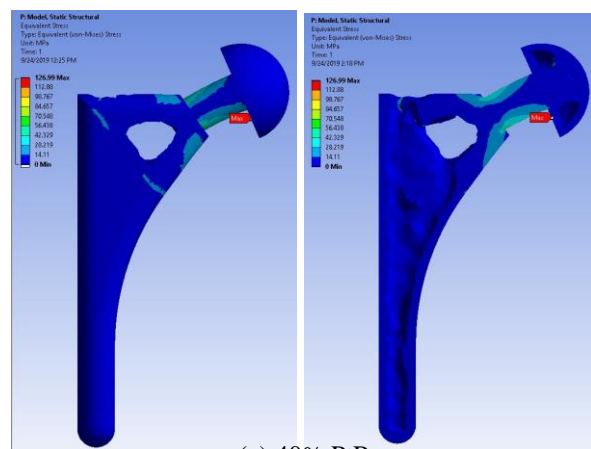
Dalam Gambar 5 tersebut, dapat dilihat bahwa lokasi tegangan *von Mises* tertinggi pada masing-masing PtR adalah berbeda, walaupun demikian nilai maksimal *stress* yang terjadi masih jauh di bawah batas *yield strength* material.



(a) 80% PtR

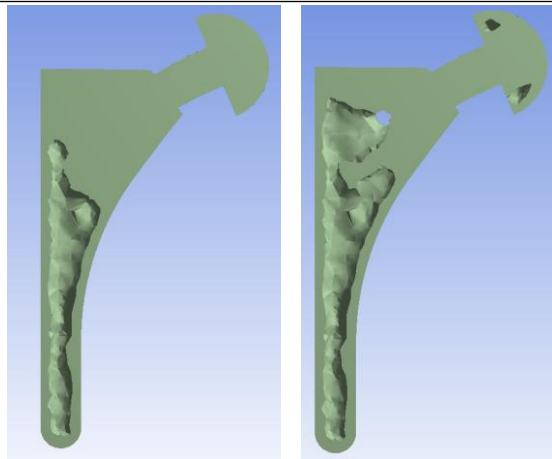


(b) 60% PtR



(c) 40% PtR

**Gambar 5.** Distribusi tegangan von Mises di bagian luar dan potongan samping



(a) 80% PtR.

(b) 60% PtR

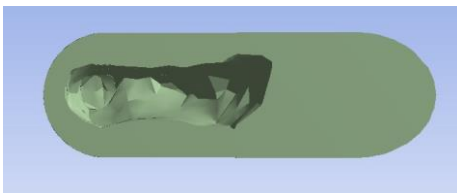


(c) 40% PtR

**Gambar 6.** Potongan samping hasil optimasi yang menunjukkan topografi bagian dalam



(a) 80% PtR



(b) 60% PtR



(a) 40% PtR

**Gambar 7.** Potongan atas hasil optimasi yang menunjukkan topografi bagian dalam

Topografi permukaan bagian dalam (potongan samping) dan potongan tengah geometri prosthesis hasil topology optimization ditunjukkan dalam Gambar 6 dan Gambar 7 secara berturut-turut. *Material removing* pada bagian dalam prosthesis terlihat sangat bergantung pada PtR yang ditetapkan. Semakin besar PtR yang ditetapkan maka akan semakin sedikit area yang di buang selama proses optimasi dengan *topology optimization*.

Walaupun demikian, pada topology optimization dengan menggunakan *mesh size* berukuran *fine*, permukaan hasil *material removing* terlihat lebih halus. Hal ini akan memudahkan pelaksanaan proses rekonstruksi geometri secara otomatis tanpa campur tangan operator.

### Kesimpulan

Dari hasil kajian ini diketahui bahwa mesh size dan percent of retain (PtR) sangat mempengaruhi bentuk dan geometri akhir dari hip stem prosthesis yang dioptimasi dengan *topology optimization*. Evaluasi terhadap hasil optimasi dengan mesh size berukuran fine menghasilkan topografi permukaan yang lebih halus. Hal ini akan lebih memudahkan proses rekonstruksi geometri dengan computer aided desain sebelum ditransfer ke computer aided manufacturing untuk pembuatan.

### Penghargaan

Paper ini merupakan bagian dari hasil riset yang didanai Penelitian Lektor Sumber Dana Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Uiveristas Syiah Kuala tahun 2019 dengan nomor kontrak 224/UN11.2/PP/PNBP/SP3/2019.

### Referensi

- [1] Enguang Zhang, a and Xin Zhang, 2018. Finite element analysis and Topology optimization design for automobile door-handle. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 392,
- [2] Rafael Santos Iwamura & Alfredo Rocha de Faria, 2013. Topology Optimization of Multiple Load Case Structures. IV International Symposium on Solid Mechanics -MecSol 2013, April 18 - 19, 2013 - Porto Alegre – Brazil
- [3] Syifaul Huzni, Fitri Handayani, Syarizal Fonna & M. Ridha, 2015. Analisis Hubungan Dimensi Stem dan Ballhead Terhadap Faktor Keamanan Fatik Hip Stem Prosthesis dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, Program Studi Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat.

- [4] Syifaul Huzni, Rizky S, Syarizal Fonna, Sulaiman Thalib, M. Ridha, A.K Arifin, 2016. Analisa Distribusi Tegangan pada Hip Stem Prosthesis dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga, Proseding Seminar Nasional Rekayasa (SNTR) III Tahun 2016, Politeknik Aceh Selatan
- [5] Joint loads, informasi dari [www.Orthoload.com/database/](http://www.Orthoload.com/database/) (diakses pada 08 Agustus 2015)
- [6] Ti6Al4V ELI Titanium Alloy, informasi dari <http://www.arcam.com/wp-content/uploads/Arcam-Ti6Al4V-ELI-Titanium-Alloy.pdf> (diakses pada 02 Januari 2016)