

EVALUASI UKURAN *FEMORAL HEAD* PADA BANTALAN *CERAMIC-ON-CERAMIC* HIP JOINT PROSTHESIS

*Alif Nugroho¹, J. Jamari², A.P. Bayuseno², Muhammad Imam Ammarullah³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³ Undip Biomechanics Engineering & Research Centre, Universitas Diponegoro (UBM-ERC)

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: nugroha@gmail.com

Abstrak

Fraktur pada sambungan tulang pinggul merupakan masalah kesehatan yang serius. Sambungan tulang pinggul menghubungkan tulang femur dengan tulang pinggul. Ketika sambungan tulang pinggul retak atau patah, maka dapat menyebabkan cedera serius. Pengobatan fraktur tulang pinggul ada berbagai macam, namun metode penggantian sambungan tulang pinggul menggunakan metode hip joint prosthesis menjadi opsi yang baik berdasarkan uji klinis yang telah dilakukan sebelumnya. Pemilihan geometri pada pengobatan tulang pinggul menggunakan metode hip joint prosthesis penting dilakukan untuk mengurangi kegagalan pengobatan hip joint prosthesis. Dimana aspek tekanan kontak dapat menjadi dasar dalam menentukan geometri yang tepat untuk hip joint prosthesis yang memiliki hubungan dengan kegagalan total hip prosthesis yang disebabkan oleh keausan. Pada penelitian ini memperoleh hasil detail untuk evaluasi delapan bantalan ceramic-on-ceramic hip joint prosthesis dengan ukuran diameter femoral head yang berbeda. Proses komputasi dilakukan dengan model bantalan ceramic-on-ceramic dua dimensi berbasis elemen hingga untuk mendapatkan nilai tekanan kontak pada kondisi berjalan normal. Diketahui bahwa bantalan ceramic-on-ceramic dengan diameter femoral head 36 mm sebagai bantalan paling potensial karena nilai tekanan kontak paling rendah dengan nilai tekanan kontak maksimal 81,84 MPa. Sedangkan nilai tekanan kontak maksimum untuk semua variasi diameter femoral head terjadi pada bantalan dengan ukuran diameter 22 mm dengan nilai maksimal 154,1 MPa. Ini menegaskan resiko kerusakan pada pemakaian ukuran diameter femoral head 36 mm akibat keausan yang paling kecil dibanding bantalan dengan ukuran diameter femoral head lainnya.

Kata kunci: *ceramic-on-ceramic; hip joint prosthesis; metode elemen hingga; tekanan kontak*

Abstract

Fractures at the hip joint are a serious health problem. The hip joint connects the femur to the hip bone. When the hip joint is fractured or broken, it can cause serious injury. There are various types of hip fracture treatment, but the hip joint method is a good method of hip joint prosthesis based on clinical trials that have been done previously. The choice of geometry in the treatment of the hip bone using the hip joint prosthesis method is important to reduce the failure of the hip joint prosthesis treatment. Where the contact pressure aspect can be the basis for determining the correct geometry for the hip joint prosthesis which has a relationship with total hip prosthesis failure caused by wear and tear. In this study, detailed results were obtained for the evaluation of eight ceramic-ceramic hip joint prosthesis bearings with different femoral head diameters. The computational process is carried out with a ceramic bearing model on a two-dimensional ceramic based on finite elements to obtain contact pressure under normal running conditions. next to it is a ceramic bearing on top of a ceramic with a femur head diameter of 36 mm as the most potential bearing because the value of the lowest contact pressure with a maximum value of contact pressure of 81.84 MPa. While the maximum contact pressure value for all variations of the diameter of the femur head occurs in bearings with a diameter of 22 mm with a maximum value of 154.1 MPa. This indicates the risk of damage to the use of a 36 mm femoral head diameter due to the smallest wear compared to other bearings with a femoral head diameter size.

Keywords: *ceramic on ceramic; contact pressure; hip joint prosthesis; finite element method*

1. Pendahuluan

Fraktur pada sambungan tulang pinggul merupakan masalah kesehatan yang serius. Ketika sambungan tulang pinggul retak atau patah, maka dapat menyebabkan cedera serius yang mempengaruhi kemampuan berdiri atau berjalan (1). Fraktur sambungan tulang pinggul dapat diobati dengan metode *hip joint prosthesis* (2). *Hip joint prosthesis* umumnya menggunakan bantalan logam-on-logam (3) dan logam-on-polietilen (4). Namun, ada risiko kesehatan yang

ditimbulkan oleh bahan logam atau polietilen. Dimana masalah penyerapan ion logam ke dalam tubuh muncul [1], kotoran yang disebabkan oleh keausan berbahaya bagi kesehatan dan menurut penelitian sebelumnya, polietilen dapat menyebabkan osteolysis Dalam studi klinis sebelumnya dikatakan bahwa keramik terkait dengan penurunan keausan dan osteolisis [2]. Oleh karena itu, sendi panggul yang menggunakan bantalan keramik di atas keramik dinilai memiliki biokompatibilitas yang lebih baik.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi mekanika kontak pada *hip joint prosthesis*. Peneliti Berry, D.J. dkk. menyelidiki pengaruh diameter *femoral head* dari berbagai bahan dan pendekatan operasi pada risiko dislokasi setelah operasi prostesis sendi panggul [3], namun pada penelitian tersebut tidak menyelidiki secara rinci terkait parameter ukuran diameter *femoral head*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan evaluasi pada bantalan *ceramic-on-ceramic hip joint prosthesis* menggunakan metode komputasi elemen hingga (5). Model elemen hingga bantalan dari *hip joint prosthesis* menggunakan variasi *femoral head* dibuat dua dimensi (6). Penelitian yang dilakukan Prasetya dkk. (7) membahas tentang knee joint dan penelitian yang dilakukan oleh Istiqomah dkk. (8) juga menggunakan metode elemen hingga, namun pada aplikasi kaki prostesis.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Parameter Geometri dan Sifat Material

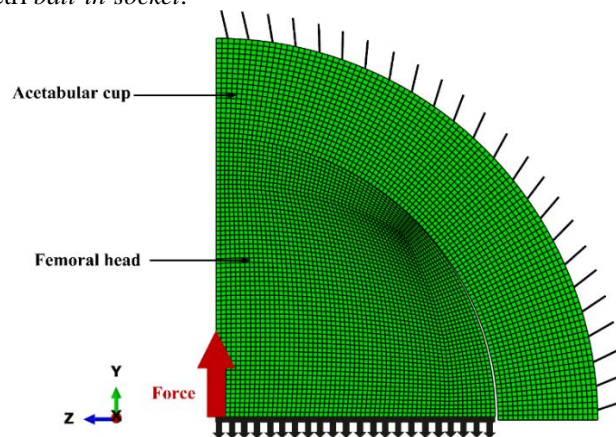
Geometri bantalan dan sifat material yang digunakan pada studi ini diadopsi dari penelitian sebelumnya (9) dijelaskan pada Tabel 1. Material bantalan Al_2O_3 yang digunakan pada simulasi memiliki modulus young sebesar 375 GPa dan rasio poisson -0,3. Untuk koefisien geseknya pada kombinasi bantalan sebesar -0,1.

Tabel 1. Parameter geometri yang digunakan

Parameter	Size awal	Nilai parameter diameter <i>femoral head</i>
Femoral head diameter	28 mm	22 mm; 24 mm; 26 mm; 28 mm ; 30 mm; 32 mm; 34 mm;
Radial clearance	50 μ m	36 mm
Acetabular cup thickness	5 mm	

2.2. Metode elemen hingga

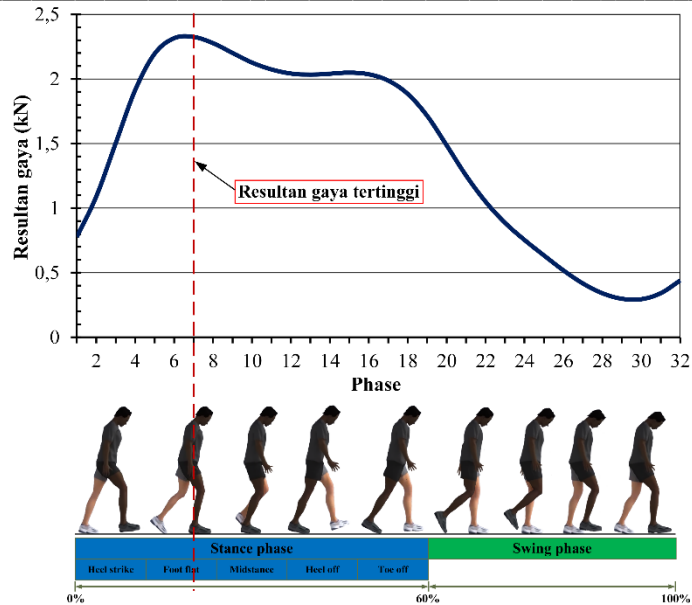
Model elemen hingga dari *ceramic-on-ceramic hip joint prosthesis* dibuat dengan mempertimbangkan dua komponen utama, yaitu *femoral head* dan *acetabular cup* seperti yang dijelaskan pada Gambar 1. Studi komputasi dilakukan menggunakan elemen hingga dua dimensi untuk mendapatkan efisiensi proses simulasi, di mana model yang digunakan berupa model asimetri *ball-in-socket*.



Gambar 1. Model elemen hingga untuk bantalan *ceramic-on-ceramic hip joint prosthesis*

2.3. Siklus Berjalan Normal

Kondisi berjalan normal pada penelitian ini didefinisikan untuk mewakili fungsi fisiologis sambungan tulang pinggul. Penulis mengadopsi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh dan Ammarullah, Md Saad et al. (10). Beban puncak siklus berjalan normal selalu terjadi di gerakan fase ke-7 pada saat fase puncak kaki berdiri.

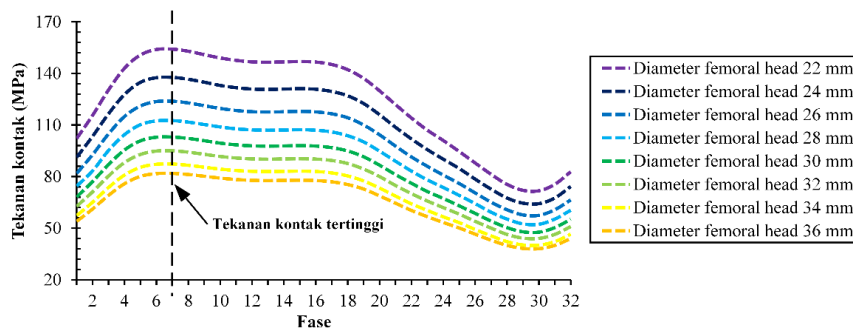


Gambar 2.. Siklus berjalan normal (10)

3. Hasil dan Pembahasan

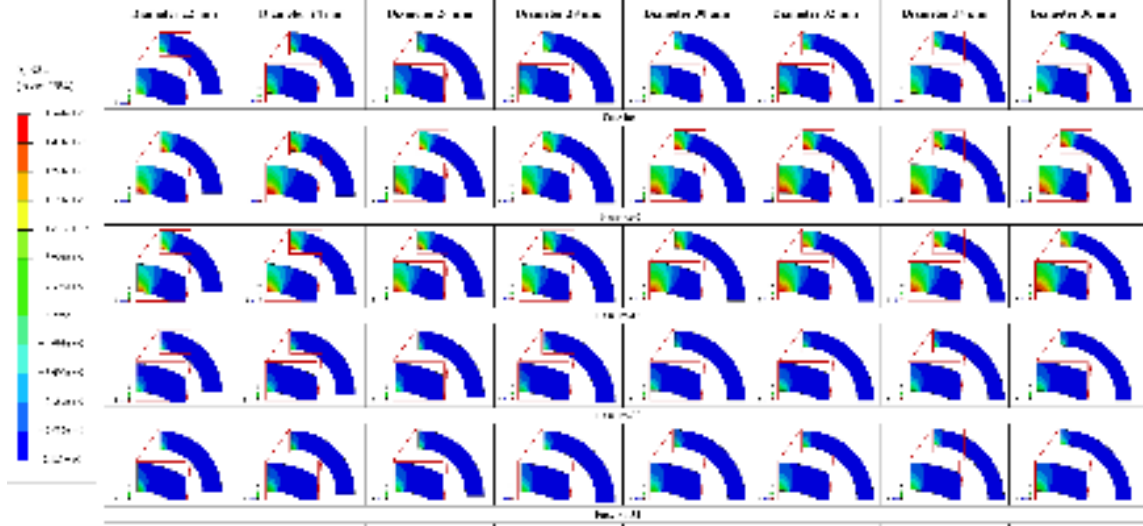
Berdasarkan Gambar 3, dapat kita lihat model *hip joint prosthesis* dengan diameter *femoral head* 22 mm memiliki nilai tekanan kontak tertinggi. Hal ini dikarenakan semakin kecil diameter *femoral head* membuat area *acetabular cup* yang berkontak langsung dengan diameter *femoral head* semakin berkurang sehingga memperbesar nilai tekanan kontak (11).

Tekanan kontak maksimum dari seluruh model terdapat di fase ke-7 pada model *hip joint prosthesis* dengan diameter *femoral head* 22 mm dengan nilai 154,1 MPa untuk model *hip joint prosthesis* dengan variasi geometri diameter *femoral head*. Sedangkan nilai kontak maksimum untuk model dengan ukuran diameter *femoral head* 24 mm, 26 mm, 28 mm, 30 mm, 32 mm, 34 mm, dan 36 mm secara berurutan adalah 137,7 MPa, 123,8 MPa, 112,6 MPa, 103 MPa, 95 MPa, 87,26 MPa, dan 81,84 MPa.



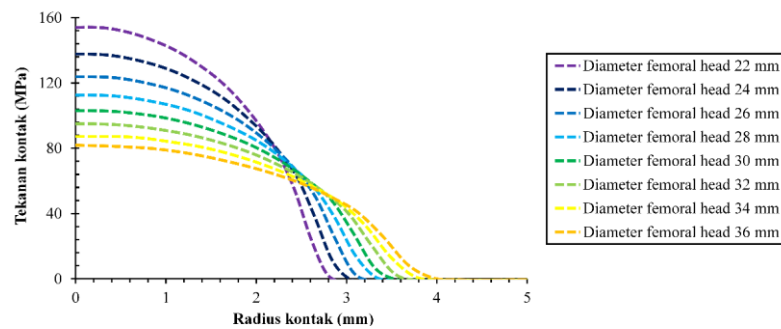
Gambar 3. Perbandingan tekanan kontak maksimum untuk diameter *femoral head* yang berbeda bantalan ceramic-on-ceramic dalam siklus penuh

Gambar 4 menunjukkan distribusi kontur tekanan kontak pada *acetabular cup* yang diperoleh dari hasil simulasi ABAQUS melalui terminologi S22 (12). Kontur tekanan kontak diilustrasikan pada komponen *acetabular cup* 2D seperempat lingkaran. Kontur tekanan kontak berada pada posisi tengah *acetabular cup*.

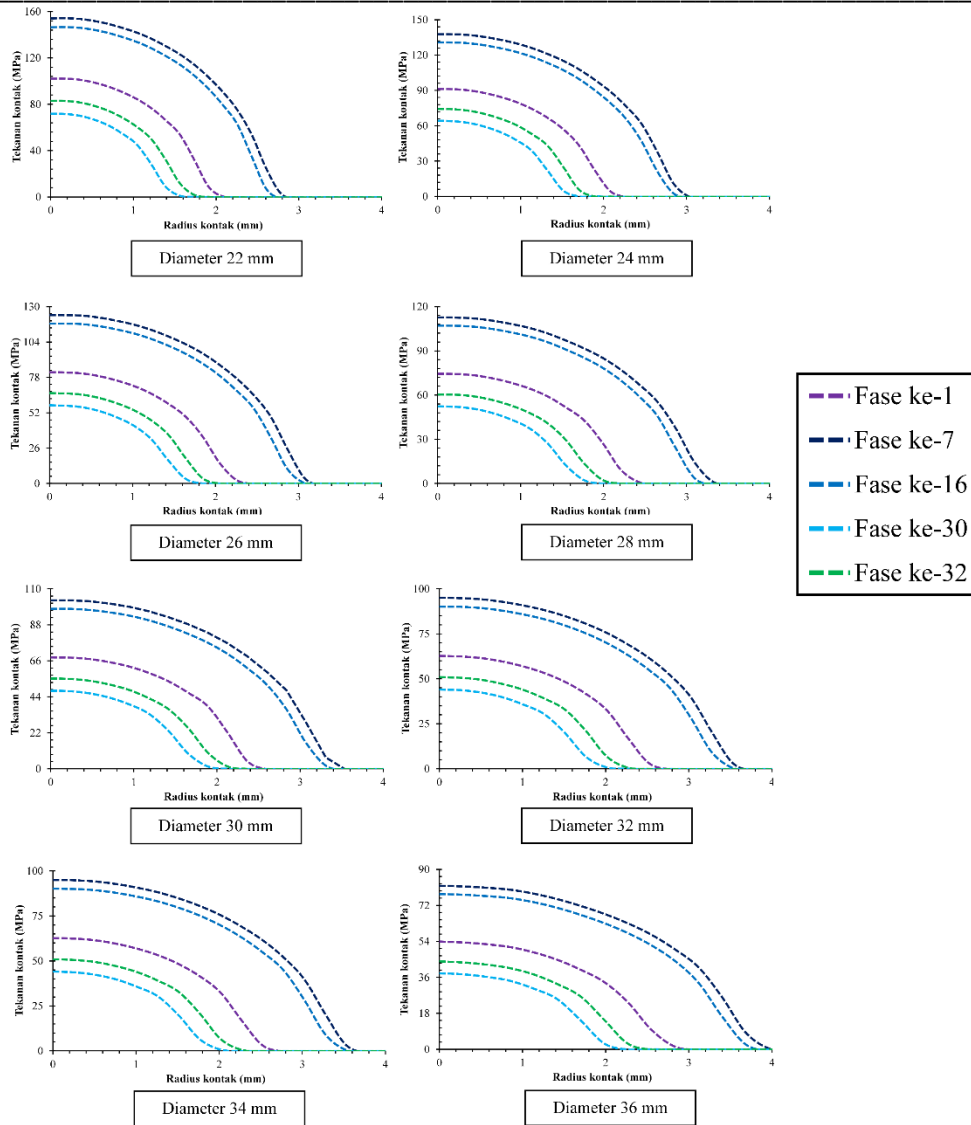


Gambar 4. Distribusi tekanan kontak pada *acetabular cup* untuk diameter *femoral head* yang berbeda bantalan *ceramic-on-ceramic* pada fase yang dipilih

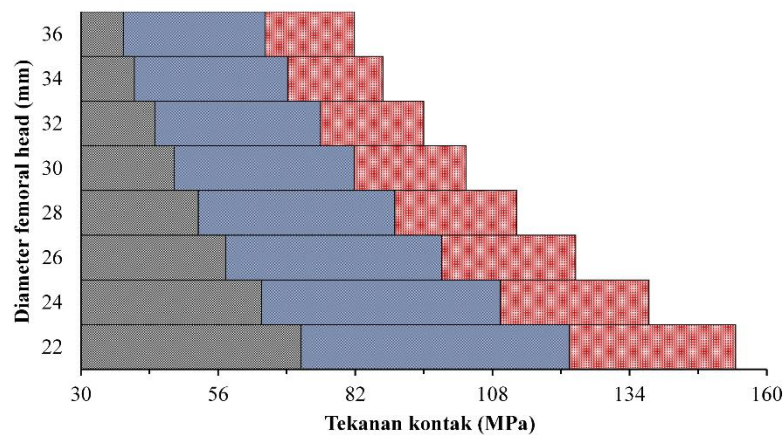
Hubungan antara tekanan kontak dan radius kontak pada bantalan *ceramic-on-ceramic* dengan diameter *femoral head* yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 5. Pada model dengan diameter *femoral head* 22 mm memiliki nilai tekanan kontak tertinggi dibandingkan bantalan *ceramic-on-ceramic* dengan ukuran diameter yang lainnya. Bantalan *ceramic-on-ceramic* dengan diameter *femoral head* 36 mm memiliki nilai tekanan kontak terendah, namun memiliki radius kontak terpanjang sekitar 4,05 mm pada saat beban puncak. Profil tekanan kontak sebagai fungsi radius kontak untuk bantalan *ceramic-on-ceramic* pada fase yang dipilih ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 7 menyajikan perbandingan tekanan kontak tertinggi, rata-rata, dan terendah dari bantalan *ceramic-on-ceramic* pada kondisi berjalan normal. Performa terbaik diberikan oleh bantalan dengan diameter femoral head 36 mm.



Gambar 5. Profil tekanan kontak sebagai fungsi radius kontak untuk diameter *femoral head* yang berbeda bantalan *ceramic-on-ceramic* pada pembebanan puncak (fase ke-7)



Gambar 6. Profil tekanan kontak sebagai fungsi dari radius kontak untuk diameter *femoral head* yang berbeda bantalan *ceramic-on-ceramic* pada fase yang dipilih



Gambar 7. Perbandingan tekanan kontak tertinggi, rata-rata, dan terendah dari bahan bantalan *ceramic-on-ceramic* pada kondisi berjalan normal

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, bantalan *ceramic-on-ceramic hip joint prosthesis* telah dievaluasi melalui aspek tekanan kontak menggunakan model elemen hingga dua dimensi. Dalam kondisi berjalan normal, tekanan kontak tertinggi ditemukan pada fase ke-7. Bantalan *ceramic-on-ceramic* dengan ukuran diameter *femoral head* 36 mm, ketebalan *acetabular cup* 5 mm, dan *radial clearance* 50 μm adalah bantalan dengan hasil paling potensial karena nilai tekanan kontak paling rendah. Ini menegaskan resiko kerusakan maupun kegagalan paling rendah dibanding dengan bantalan dengan ukuran diameter *femoral head* yang lain.

5. Daftar Pustaka

1. Marks R, Allegrante JP, MacKenzie CR, Lane JM. Hip fractures among the elderly: Causes, consequences and control. *Ageing Research Reviews*. 2003;2(1):57–93.
2. Paper W, Sankar S, Tech V. A Review on Total Hip Replacement. 2016;(November).
3. Alvarez-Vera M, Ortega-Saenz JA, Hernandez-Rodríguez MAL. A study of the wear performance in a hip simulator of a metal-metal Co-Cr alloy with different boron additions. *Wear*. 2013;301(1–2):175–81.
4. Hua X, Li J, Wang L, Jin Z, Wilcox R, Fisher J. Contact mechanics of modular metal-on-polyethylene total hip replacement under adverse edge loading conditions. *Journal of Biomechanics*. 2014;47(13):3303–9.
5. Jin ZM, Heng SM, Ng HW, Auger DD. An axisymmetric contact model of ultra high molecular weight polyethylene cups against metallic femoral heads for artificial hip joint replacements. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*. 1999;213(4):317–27.
6. Kalayarsan M, Prakash L, Shankar S. Material selection of acetabular component in human hip prosthesis using finite element concepts. *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics*. 2013;2(2):118.
7. Prasetya AY, Darmanto D, Dzulfikar M. The Effect of Plasma Nitridation on Surface Hardness of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) for Artificial Knee Joint Applications. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering [Internet]*. 2022 Jan 3 [cited 2023 Jan 23];1(2):49–53. Available from: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jbiomes/article/view/12666>
8. Istiqomah AF, Ismail R, Fitriyana DF, Sulistyono S, Fardinansyah AP, Safitri MAN, et al. Design and Analysis of The Energy Storage and Return (ESAR) Foot Prosthesis Using Finite Element Method. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering [Internet]*. 2022 Jan 6 [cited 2023 Jan 23];1(2):59–64. Available from: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jbiomes/article/view/12717>
9. Shankar S, Nithyaprakash R. Effect of Radial Clearance on Wear and Contact Pressure of Hard-on-Hard Hip Prostheses Using Finite Element Concepts. *Tribology Transactions*. 2014;57(5):814–20.
10. Ammarullah MI, Md Saad AP, Syahrom A, Basri H. Contact pressure analysis of acetabular cup surface with dimple addition on total hip arthroplasty using finite element method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1034(1):012001.
11. Shankar S. Predicting wear of ceramic–ceramic hip prosthesis using finite element method for different radial clearances. *Tribology - Materials, Surfaces and Interfaces*. 2014;8(4):194–200.
12. Simulia DS. Abaqus 6.14 / Analysis User's Guide. ABAQUS 614 Analysis User's Guide. 2014;I:862.