

ANALISIS PENGARUH TEKSTUR PERMUKAAN BERUPA *SQUARE DIMPLE* PADA KOMPONEN FEMORAL HEAD TERHADAP PERFORMA *ARTIFICIAL HIP JOINT* PADA GERAKAN MEMBUNGKUK DENGAN METODE *TWO-WAY FLUID STRUCTURE INTERACTION (FSI)*

*Gerardus Alvin Kalbuadhi¹, Mohammad Tauvqiirrahman², Jamari²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: grardusalvin17@gmail.com

Abstrak

Artificial hip joint adalah salah satu prosedur penggantian kerusakan pada sendi panggul yang umum digunakan pada bidang klinis. Salah satu pengembangan model AHJ Universitas Diponegoro adalah mampu digunakan dalam gerakan membungkuk. Meski demikian pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan berbagai pendekatan dalam mengoptimalkan model pada gerakan membungkuk. Penelitian ini membahas pengaruh variasi penambahan tekstur *dimple* pada permukaan komponen *femoral head* dan *inner liner* pada komponen *femoral head*. Variasi tekstur permukaan dilakukan dengan memodifikasi geometri model yang dapat mempengaruhi tekanan hidrodinamis yang tersedia pada pelumas dalam kondisi pembebanan membungkuk. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *two-way Fluid-Structure Interaction (FSI)* untuk mengakomodir fenomena penggunaan aktual. Variasi tekstur *dimple* yang dianalisa adalah tekstur *femoral head* dan tekstur *inner liner*. Data hasil analisis diperoleh nilai tekanan hidrodinamis dan tegangan von-mises pada *inner liner* dan *femoral head*.

Kata kunci: *artificial hip joint; fluid structure interaction; membungkuk*

Abstract

Artificial hip joint is one of the most commonly used replacement procedures for damage to the hip joint in clinical practice. One of the developments of the Diponegoro University AHJ model is that it can be used in prayer activities. However, in previous studies, various approaches have been carried out in optimizing the model for prayer activities. This study discusses the effect of variations in the addition of *dimple* texture on the surface of the *femoral head* component and the *inner liner* on the *femoral head* component. Variation of surface texture is done by modifying the geometry of the model which can affect the hydrodynamic pressure available in the lubricant under bowing loading conditions. The analysis was carried out using the *two-way Fluid-Structure Interaction (FSI)* method to accommodate the actual usage phenomenon. Variations of *dimple* texture analyzed were the texture of the *femoral head* and the texture of the *inner liner*. The data from the analysis obtained the value of hydrodynamic pressure and von-mises stress on the *inner liner* and *femoral head*.

Keywords: *artificial hip joint; bowing; fluid structure interaction*

1. Pendahuluan

Pada saat ini, penggantian sendi panggul (hip joint) yang rusak dengan artificial hip joint direkomendasikan untuk pasien osteoarthritis. Hip joint adalah sendi ball and socket yang terdiri dari acetabulum dan kepala tulang paha, menghubungkan tulang paha (femur) dan panggul (pelvis) [1]. Tindakan hip replacement terus mengalami kenaikan di berbagai negara. Pilz (2018) melakukan studi kasus hip arthroplasty di Jerman sejak tahun 2014, angka kejadian dan jumlah pasien meningkat sekitar 3% setiap tahun. Dalam banyaknya kasus total hip arthroplasty disebabkan oleh beberapa penyebab, indikasi yang paling umum adalah osteoarthritis.

Walaupun total hip arthroplasty merupakan salah satu intervensi ortopedi paling sukses, melakukan hip replacement memiliki beberapa kekurangan. Pasien hip replacement mengeluhkan usia pakai artificial hip joint. Mattei [3] dalam penelitiannya pada pasien hip arthroplasty dibawah umur 60 tahun, 44% dari mereka menuntut usia pakai yang lebih dari 20 sampai 25 tahun. Pasien hip arthroplasty memiliki keterbatasan dalam melakukan aktifitas seperti: berlari, jongkok, melompat, dan membungkuk.

Beberapa studi telah membuktikan berbagai cara agar performa tribologi serta usia pakai dari artificial hip joint dapat meningkat. Pengaruh penambahan tekstur berupa dimple pada permukaan dari femoral head maupun inner liner

menunjukkan peningkatan performa artificial hip joint pada kondisi pembebanan membungkuk.

Menambahkan tekstur dimpled texture ke permukaan lapisan dalam dapat mengoptimalkan ketebalan film pelumasan dan menahan wear debris dengan bertindak sebagai reservoir. Jamari dkk. [4] mempelajari pengaruh dimple arrays pada permukaan untuk mendistribusikan tegangan pada permukaan ultra-highmolecular-weight polyethylene (UHMWPE) dengan statis dan rolling kontak. Mereka menemukan bahwa pemisahan yang lebih besar antar dimple menghasilkan distribusi tegangan yang lebih tinggi di permukaan. Basri dkk. [5] melakukan analisis numerik menggunakan simulasi Fluid–Solid Interface (FSI) dengan menganalisis variasi geometrik pada dimple dan kinerja pelumas pada metal on a metal artificial hip joint. Mereka menemukan peningkatan kinerja pelumasan hidrodinamik hampir 50% dengan penurunan tekanan kontak maksimum dibandingkan dengan permukaan yang tidak bertekstur.

Cairan sinovial (SF), pelumas biologis yang juga bertindak seperti shock-absorber. Seperti yang dibahas oleh Gao [6] rata-rata shear rate pada hip joint replacement biasanya berkisar antara 10^6 - 10^7 1/s dan itu membuat viskositas cairan sinovial berbeda dari viskositas air. Seperti yang dibahas oleh Hron [7] dalam kerangka numerik, cairan sinovial dapat didekati sebagai cairan kontinum tunggal homogen yang tidak dapat dimampatkan meskipun cairan sinovial adalah bahan biologis yang kompleks. Berkat kehadiran SF dan geometri ball-in socket, hip joint dapat mengirimkan beban dinamis hingga (7-8 kali berat badan) dan mengakomodasi berbagai gerakan. Cairan sinovial yang bertindak sebagai pelumas terjadi secara alami di dalam tubuh, terutama, memiliki efek signifikan dalam kinerja artificial hip joint.

Beragam variasi tekstur telah diteliti dan hadir sebagai modifikasi dan improvisasi performa artificial hip joint. Namun penelitian mengenai tekstur dimple berbentuk square masih minim dan perlu dilengkapi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan tekstur square dimple pada permukaan inner liner, dan femoral head terhadap tekanan hidrodinamis dan load support pada synovial fluid. Modul transient structural pada ANSYS digunakan untuk menganalisis deformasi pada inner liner dan femoral head dan fluid flow (Fluent) digunakan untuk menganalisis tekanan dan gaya hidrodinamik pada fluida.

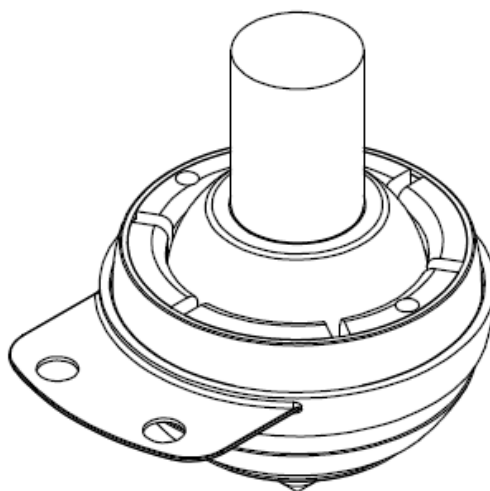
2. Dasar Teori dan Metodologi

Artificial hip joint pada awalnya didesain untuk memiliki gesekan dan keausan yang rendah. Beberapa puluh Tahun kemudian tujuan tersebut terpenuhi, berdasarkan keausan dan gesekan artificial hip joint diperkirakan dapat bertahan selama 30 tahun [8]. Pada kasus tertentu titanium alloy digunakan (seperti Ti6Al4V) digunakan sebagai material dari acetabular cup atau femoral head [9].

Terdapat dua pemodelan metode FSI, yaitu one-way FSI dan two-way FSI. Pada one-way FSI aliran pada fluid domain (CFD) dan data perhitungan dilanjutkan ke solid domain (FEA) untuk memperhitungkan pengaruh fluida terhadap deformasi yang terjadi pada struktur [10]. Pada kasus ini menganalisa pengaruh tekstur permukaan berupa *square dimple* pada komponen *femoral head* terhadap performa *artificial hip joint* pada gerakan membungkuk dengan metode *two-way fluid structure interaction* (FSI). Simulasi ini menggunakan program *Fluent* dan *Transient Structural* dalam ANSYS Workbench 2019 R3.

2.1 Geometri

Geometri dimodelkan menggunakan perangkat lunak Solidwork. Kemudian model tersebut diimpor ke dalam ANSYS Design Modeler setelah sebelumnya diposisikan berdasarkan range of motion gerakan membungkuk. Geometri artificial hip joint dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Geometri artificial hip joint.

2.2 Meshing

Proses *meshing* dilakukan dengan membagi komponen menjadi elemen - elemen kecil, proses tersebut dilakukan pada masing-masing modul (*fluid flow* dan *static structural*). Pada penelitian ini menggunakan *4-node tetrahedral elements* untuk menilai keakuratan dari pemodelan dan memastikan peningkatan hasil dengan menggunakan ukuran *grid* yang lebih kecil, . Semua simulasi juga menggunakan elemen ukuran 0.9 mm karena mereka menawarkan jumlah *mesh* independen yang baik dan waktu komputasi yang dapat ditoleransi.

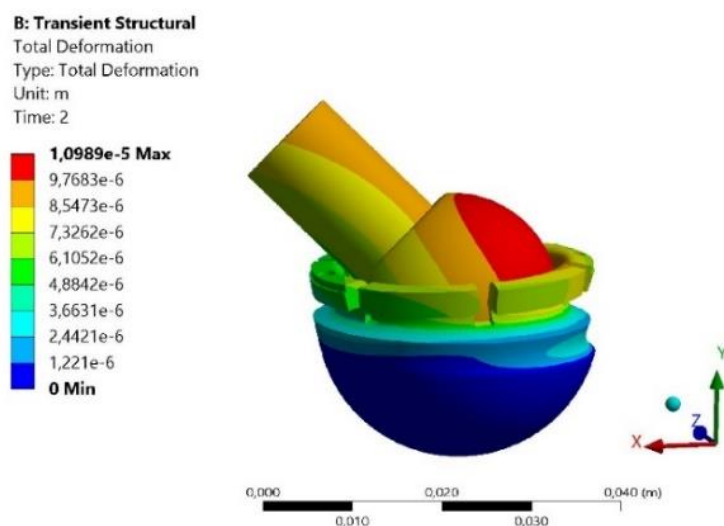
Pada *meshing artificial hip joint solid type*, digunakan kriteria *mesh method body sizing* dengan *mesh type prism*. Ukuran elemen yang digunakan sebagaimana dibahas diatas, menggunakan ukuran 0.9 mm. Konfigurasi ini dapat menghasilkan *mesh* yang baik pada *artificial hip joint solid type* yang menghasilkan jumlah elemen sebanyak 264,162 dan jumlah *node* 426,319. Untuk melihat kualitas dari *mesh* juga ditambahkan parameter kualitas berupa nilai *skewness*, dimana nilai *skewness* maksimum dari hasil *mesh artificial hip joint solid type* 0.99956 dengan nilai *average skewness* 0.28403. dapat dilihat dari nilai *average* untuk melihat keseluruhan kualitas *mesh* bahwa *mesh artificial hip joint solid type* sudah dalam kategori baik.

Meshing juga dilakukan pada *artificial hip joint fluid type* yang bertujuan untuk mensimulasikan fluida dalam CFD. Kriteria *mesh* yang digunakan dalam *artificial hip joint fluid type* adalah menggunakan *method body sizing* dengan *mesh type prism*. Ukuran elemen sama dengan *mesh artificial hip joint solid type* menggunakan ukuran elemen 0.9 mm dan konfigurasi ini menghasilkan jumlah elemen sebanyak 124,542 dengan jumlah *node* sebanyak 63,769. Sama seperti *mesh artificial hip joint solid type*, ditambahkan parameter kualitas berupa nilai *skewness* dengan hasil nilai *skewness* maksimum 0.89953 dan *average skewness* sebesar 0.33012. Dari nilai *average skewness* ini juga dapat dilihat bahwa *mesh* dalam kategori baik.

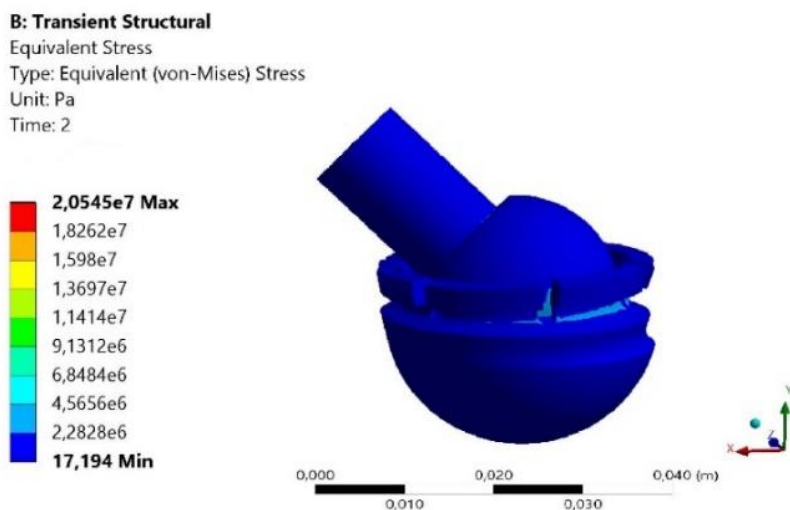
3. Analisis dan Pembahasan

Berikut adalah hasil simulasi untuk mengetahui deformasi total dan tegangan von-mises total. Hasil yang dapat dilihat adalah berupa kontur *total deformation* pada *femoral* bertekstur dan *inner liner* bertekstur serta tegangan von-mises pada *femoral* bertekstur dan *inner liner* bertekstur.

Faktor-faktor yang diuji adalah *max von-mises stress* dan deformasi total. Untuk *maximum* tegangan von-mises tidak mengalami perubahan baik *inner liner* bertekstur ataupun *femoral* bertekstur. Nilai dari *maximum von-mises* pada *inner liner* bertekstur dan *femoral* bertekstur tidak berbeda jauh yakni 20,5 MPa untuk *inner liner* bertekstur dan 21 MPa untuk *femoral* bertekstur. Hal yang serupa juga terjadi pada nilai deformasi total, dimana nilai deformasi total pada *inner liner* bertekstur dan *femoral* bertekstur tidak berbeda jauh berkisar pada 0,01 mm. Kontur pada deformasi total dan tegangan von-mises total dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 2. Total deformation pada *inner liner* bertekstur.



Gambar 3. Von misses stress pada *inner liner* bertekstur.

4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian penelitian ini :

1. Tekanan hidrodinamis pada *femoral* tekstur memiliki *trend* yang diatas tekanan hidrodinamis *inner liner* tekstur. Hal ini disebabkan tekstur pada *femoral head* lebih efektif dalam menjadi *reservoir synovial fluid* sehingga memiliki tekanan yang lebih tinggi.
2. Tegangan von-mises pada *inner liner* bertekstur lebih tinggi dibanding *inner liner* dengan *femoral* bertekstur
3. Deformasi *femoral* pada *femoral* bertekstur lebih kecil dibandingkan *inner liner* bertekstur

5. Referensi

- [1] Ghalmeh, S G. ; Mankar, A. ; Bhalerao, Y. Biomaterials in hip joint Replacement International Journal Materials Science Engineering. **2016**, 42, 113-125.
- [2] Pilz, V.; Hanstein, T.; & Skripitz, R. Projections of primary hip arthroplasty in Germany until 2040. *Acta Orthopaedica*. **2018**, 89, 308-313.
- [3] Mattei, L; Di Puccio, F; Piccigallo, B.; Ciulli, E. Lubrication and wear modelling Of artificial hip joints: A review. *Tribology International*. **2011**, 44: 532-549.
- [4] Jamari, J.; Ismail, R.; Anwar, I.; Saputra, E.; Tauviqirrahman, M.; & Heide, E. Study the effect of surface texturing on the stress distribution of UHMWPE as a bearing material during rolling motion. In AIP Conference Proceedings. **2016**, 17-25.
- [5] Basri, H.; Syahrom, A.; Prakoso, A.; Wicaksono, D.; Amarullah, M.; Ramadhoni, T.; Nugraha, R. The Analysis of Dimple Geometry on Artificial Hip Joint to the Performance of Lubrication. *Journal of Physics: Conference Series*. **2019**, 1198, 042012.
- [6] Gao, L.; Yang, P.; Dymond, I.; Fisher, J.; Jin, Z. Effect of surface texturing on the elastohydrodynamic lubrication analysis of metal-on-metal hip implants. *Tribology International*. **2010**, 43, 1851-1860.
- [7] Hron, J.; M'alek, P.; Pust'ejovsk'a, K. R.; Rajagopal. On the modeling of the synovial fluid. *Advance Tribology*. **2010**, 104957
- [8] Dowson, D. A comparative study of the performance of metallic and ceramic Femoral head components in total replacement hip joints. *Wear*. **1995**, Hal. 171–183.
- [9] Callaghan, J.J, Rosenberg, A. G, and Rubash, H.E. The adult hip. Philadelphia, USA: Lippincott Williams and Wilkins. **2007**.
- [10] Dhande, D.Y., and Pande, D.W. A two-way FSI analysis of multiphase flow in hydrodynamic journal bearing with cavitation. *Journal Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*. **2017**., Vol. 39, hal. 3399–3412.