

Analisa Sifat Mekanis dan Ketahanan Aus Material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan Radiasi Elektron

Ricky Tanjung, Suyatna Arian Wibowo, Yustiasih Purwaningrum, dan Muhammad Khafidh*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

*Corresponding author: khafidh@uii.ac.id

Abstract. Hipjoint is a bone connector between femur and pelvis. Hipjoint can damage due to several reasons, such as age, accident, or bone diseases. In severe conditions, hipjoint has to be replaced by artificial hipjoint. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) is one of the materials that can be used in making artificial hipjoint. In addition to its mechanical properties, one of the important factors in material selection is wear. This research discusses the mechanical properties and wear resistance of UHMWPE which are applied an electron radiation. The doses of electron radiation are varied, namely 50 kGy, 75 kGy, and 100 kGy. Natural UHMWPE (without radiation) and UHMWPE with radiation are compared using several tests, namely hardness tests, impact tests, wear tests, roughness tests, and analysis of macro photographs. The results show that the hardness of UHMWPE slightly decreases with increasing electron radiation. The impact strength of a natural UHMWPE shows the smallest value compared to others. UHMWPEs with electron radiation produce smaller wear compared to natural UHMWPE. This can be caused by crosslink and the smaller surface roughness of the UHMWPEs with electron radiation. Macro images on the wear track are analyzed to investigate the wear process.

Abstrak. Hipjoint atau tulang pinggul adalah sambungan tulang pada bagian tulang paha dengan tulang pelvis. Hipjoint dapat rusak akibat beberapa hal, seperti faktor usia, kecelakaan, atau penyakit tulang. Pada kondisi yang parah, tulang pinggul harus digantikan dengan tulang pinggul buatan. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) adalah salah satu material yang dapat digunakan dalam pembuatan tulang pinggul buatan. Selain sifat mekanisnya, salah satu faktor penting dalam pemilihan material tulang pinggul buatan adalah ketahanan material terhadap aus. Penelitian ini akan mempelajari sifat mekanis dan ketahanan aus material UHMWPE yang diberi perlakuan radiasi elektron. Terdapat 3 variasi dosis radiasi elektron yang diberikan, yaitu 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy. Untuk membandingkan material UHMWPE natural (tanpa radiasi) dengan UHMWPE dengan radiasi, beberapa pengujian dilakukan, meliputi uji kekerasan, uji *impact*, uji aus, uji kekasaran dan analisa foto makro permukaan setelah uji aus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan material menurun dengan diberikannya radiasi elektron. Kekuatan *impact* UHMWPE natural menunjukkan nilai yang lebih kecil dibanding dengan material lain. Radiasi elektron pada UHMWPE menghasilkan aus yang lebih kecil dibandingkan dengan UHMWPE natural. Hal ini dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan UHMWPE dengan perlakuan radiasi elektron yang menunjukkan nilai yang lebih kecil. Di akhir pengujian aus, foto makro pada trek aus dianalisa.

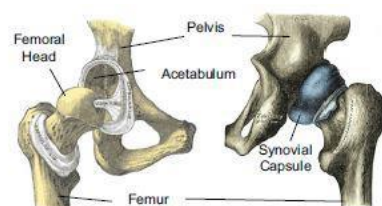
Kata kunci: aus, hipjoint, radiasi elektron, sifat mekanis, UHMWPE.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Tulang pinggul mempunyai fungsi yang penting untuk gerakan kaki manusia. Tulang pinggul menghubungkan tulang pelvis dan tulang paha (femur). Pada tulang pinggul terdapat dua bagian utama, yaitu *acetabulum* yang berbentuk seperti mangkok dan *femoral head* yang berbentuk seperti bola, lihat Gambar 1. Diantara *acetabulum* dan *femoral head* terdapat cairan *synovial* yang berfungsi sebagai pelumas. Cairan ini sangat berguna untuk mengurangi aus pada *acetabulum* ataupun *femoral head* selama proses gesekan. Tulang pinggul dapat rusak karena beberapa alasan,

seperti kecelakaan, faktor usia, dan penyakit. Dalam kasus yang parah, tulang pinggul harus diganti dengan tulang pinggul buatan.



Gambar 1. Anatomi hipjoint [1].

Pada tulang pinggul buatan sudah dikembangkan beberapa variasi material untuk bagian *acetabulum* dan *femoral head*, seperti Ceramic-on-Metal (MoP) [2], Metal-on-Metal (MoM) [3], dan Ceramic-on-ceramic (CoC) [4]. Dalam beberapa dekade terakhir, material UHMWPE sering digunakan sebagai material *acetabulum* buatan karena memiliki beberapa keunggulan, seperti sifat mekanis yang baik, aman bagi sistem tubuh manusia, dan ketahanan aus yang baik [5].

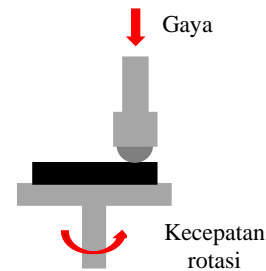
Berbagai penelitian untuk meningkatkan performa material UHMWPE terus dilakukan agar jangka waktu pemakaiannya lebih panjang [6-8]. Salah satu metode yang dilakukan adalah dengan merekayasa susunan material penyusun UHMWPE agar saling terikat (*crosslink*). Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa *crosslink* dapat meningkatkan ketahanan aus UHMWPE [9]. Rekaya *crosslink* pada UHMWPE dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti pemberian radiasi elektron dan radiasi gamma. Material lawan yang bergesekan dengan UHMWPE, seperti CoCr dan stainless steel, juga mempunyai pengaruh terhadap efektifitas metode *crosslink* terhadap ketahanan aus UHMWPE [10].

Penelitian ini akan menginvestigasi pengaruh radiasi elektron pada material UHMWPE yang beredar di pasar Indonesia terhadap sifat mekanik dan ketahanan ausnya. Pada pengujian aus, material lawan yang bergesekan adalah stainless steel AISI 316L. Material ini banyak dikembangkan di negara berkembang seperti Indonesia untuk menjadi material pengganti *femoral head* karena harganya yang relatif terjangkau dibanding biomaterial logam lainnya.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, material UHMWPE yang digunakan merupakan material yang dijual di pasar Indonesia. UHMWPE diberi perlakuan radiasi elektron menggunakan alat *electron beam irradiation* untuk menghasilkan *crosslink* pada struktur mikronya. Terdapat 3 variasi dosis radiasi elektron yang digunakan, yaitu 50 kGy, 75 kGy, dan 100 kGy. UHMWPE dengan perlakuan radiasi elektron kemudian dibandingkan dengan UHMWPE natural (tanpa radiasi).

Uji *impact* dilakukan menggunakan alat *Resil Impactor Ceast* dengan metode Izod. Sedangkan uji kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers*. Semua pengujian dilakukan tiga kali untuk mengetahui keberulangan hasil pengujian.

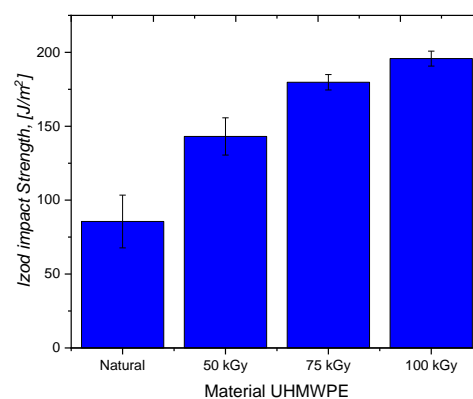


Gambar 2. Skema tribometer pin-on-disk.

Tribometer pin-on-disk digunakan untuk menguji ketahanan aus material. Skema alat tribometer pin-on-disk dapat dilihat pada Gambar 2. Uji tribometer menggunakan gaya 10 N, kecepatan sudut 60 rpm, jumlah putaran 12000, dan menggunakan suhu ruang. Material stainless steel AISI 316L digunakan sebagai material lawan pada uji tribometer. Ketahanan aus UHMWPE dianalisa dengan membandingkan massa material sebelum dan sesudah pengujian menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,0001 gram. Uji kekasaran dilakukan pada permukaan UHMWPE menggunakan alat *surface roughness surfscorder SE 1700*. Analisa foto makro pada trek aus dilakukan untuk mengetahui proses aus pada material.

Hasil dan Pembahasan

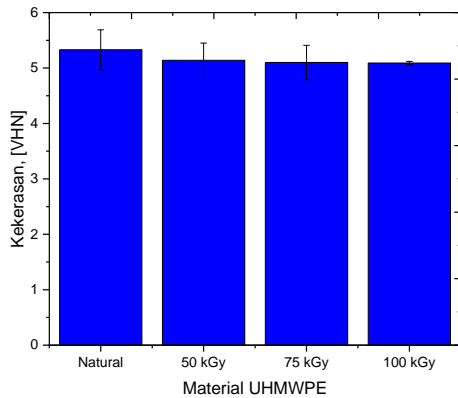
Hasil uji *impact* menunjukkan bahwa UHMWPE natural mempunyai nilai terendah, lihat Gambar 3. Nilai ketahanan *impact* UHMWPE meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi elektron. Hasil ini menunjukkan bahwa UHMWPE dengan perlakuan radiasi elektron mempunyai sifat lebih ulet dibandingkan dengan UHMWPE natural. Ketahanan *impact* UHMWPE yang tinggi bagus untuk menahan beban *impact* saat aplikasi sedang melompat atau berlari.



Gambar 3. Hasil uji *impact*.

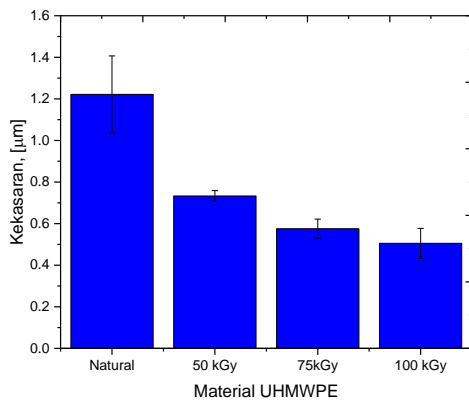
Gambar 4 menunjukkan nilai kekerasan UHMWPE dengan radiasi elektron mempunyai

kecenderungan menurun. Pada radiasi 50 kGy dan 75 kGy, penurunannya tidak terlalu signifikan karena masih dalam rentang galat (*error*). Tetapi pada dosis 100 kGy terlihat jelas bahwa nilai kekerasannya lebih kecil dibandingkan dengan UHMWPE natural. Hasil ini konsisten dengan hasil uji *impact* dimana UHMWPE dengan radiasi elektron mempunyai sifat mekanis yang lebih rendah.



Gambar 4. Hasil uji kekerasan.

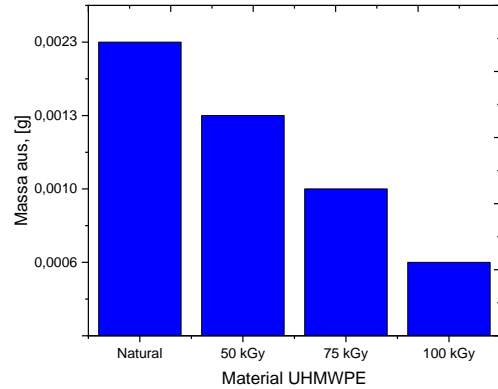
Uji kekasaran pada permukaan UHMWPE menunjukkan bahwa pemberian radiasi elektron berdampak pada nilai kekasaran yang lebih rendah. Gambar 5 menunjukkan penurunan kekasaran dengan bertambahnya dosis radiasi elektron.



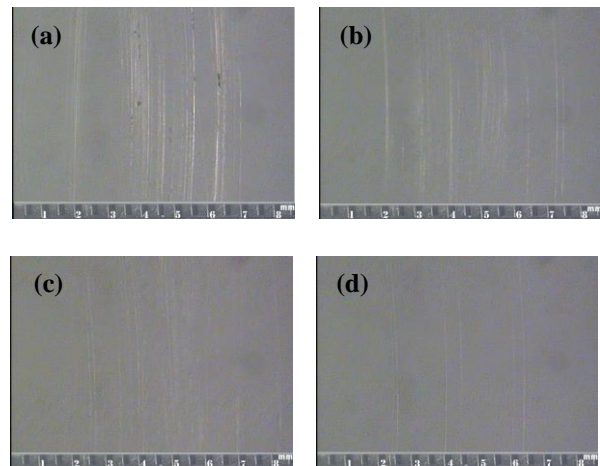
Gambar 5. Hasil uji kekasaran.

Uji tribometer menunjukkan bahwa besar aus UHMWPE dapat dikurangi dengan pemberian radiasi elektron. Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan pemberian radiasi elektron 100 kGy dapat menurunkan aus empat kali lipat dibandingkan dengan tanpa radiasi elektron. Hal ini dapat disebabkan oleh *crosslink* dalam senyawa UHMWPE yang menyebabkan material lebih tahan terhadap aus. Foto makro pada trek aus menunjukkan secara jelas bahwa goresan mendominasi proses terjadinya aus pada UHMWPE, lihat Gambar 7. Kekasaran material

lawan (AISI 316L) menjadi penyebab terjadinya fenomena ini. Pada UHMWPE natural terlihat goresan yang banyak sedangkan UHMWPE dengan radiasi elektron mempunyai goresan yang lebih sedikit.



Gambar 6. Hasil uji aus.



Gambar 7. Foto makro pada trek aus UHMWPE: (a) natural, (b) 50 kGy, (c) 75 kGy, (d) 100 kGy.

Ketahanan aus mungkin dapat ditingkatkan lagi dengan meningkatkan kekerasan material UHMWPE. Akan tetapi UHMWPE yang terlalu keras mempunyai resiko patah ketika terkena beban *impact*. Oleh karena itu, diperlukan material UHMWPE yang mempunyai sifat ulet di dalamnya dan mempunyai sifat getas di bagian permukaannya. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan metode dan parameter sehingga menghasilkan karakteristik UHMWPE tersebut.

Kesimpulan

Pengaruh radiasi elektron pada sifat mekanis dan ketahanan aus material UHMWPE sudah dilakukan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian radiasi elektron pada UHMWPE akan meningkatkan ketahanan *impact* dan sedikit menurunkan kekerasan material. Sedangkan

nilai ketahanan aus UHMWPE dengan radiasi elektron dapat meningkat secara signifikan.

Referensi

- [1] Mattei, L. et al., 2011. Lubrication and wear modelling of artificial hip joints: A review. *Tribology International* 44, 532–549.
- [2] Firkins, P.J. 2001. A novel low wearing differential hardness, ceramic-on-metal hip joint prosthesis. *Journal of Biomechanics* 34, 1291-1298.
- [3] Dowson, D. et al., 2004. A hip joint simulator study of the performance of metal-on-metal joints: Part II: Design. *The Journal of Arthroplasty* 19, 124-130.
- [4] Roy, T. et al., 2015. Improved friction and wear performance of micro dimpled ceramic-on-ceramic interface for hip joint arthroplasty. *Ceramics International* 41, 681-690.
- [5] Bracco, P. et al., 2017. Ultra-High Molecular Weight Polyethylene: Influence of the Chemical, Physical and Mechanical Properties on the Wear Behavior. A Review. *Materials* 10, 791.
- [6] Wang, A. et al., 2006. The Clinical Relevance of Hip Simulator Testing of High Performance Implants. *Seminars in Arthroplasty* 17, 49-55.
- [7] Affatato, S. et al, 2002. Effects of the sterilisation method on the wear of UHMWPE acetabular cups tested in a hip joint simulator. *Biomaterials* 23, 1439-1446.
- [8] Affatato, S. et al, 2002. The performance of gamma- and EtO-sterilised UHMWPE acetabular cups tested under severe simulator conditions. Part 1: Role of the third-body wear process. *Biomaterials* 23, 4839-4846.
- [9] Kurtz, S.M., et al., 2003. Comparison of the properties of annealed crosslinked (Crossfire) and conventional polyethylene as hip bearing materials. *Bulletin Hospital for Joint Diseases* 61, 17-26.
- [10] Bistolfi, A., et al., 2011. The relative effects of radiation crosslinking and type of counterface on the wear resistance of ultrahigh-molecular-weight polyethylene. *Acta Biomater* 7, 3398–3403.