

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M3-020 Efek Jumlah Goresan terhadap Keausan Ion-Implanted CoCr dan Die Drawn UHMWPE untuk Knee Prostheses Application

Ishak S. Limbong¹, Rini Dharmastiti² dan B.A.Tjipto Sujitno³

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Telp. : 085239003699, e-mail : isak_gemini@yahoo.com

² Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada

³ Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta

ABSTRAK

Sendi lutut tiruan, yang terbuat dari UHMWPE pada bagian tibial dan CoCr pada bagian femur, mengalami keausan yang menghasilkan debris keausan. Debris keausan dari UHMWPE dan jumlah debris yang terjadi merupakan penyebab utama kerusakan sendi lutut buatan. Kekasaran pada permukaan adalah salah satu penyebab utama meningkatnya volume keausan dan jumlah partikel keausan. Penelitian dilakukan dengan membuat beberapa jumlah goresan pada permukaan CoCr (yang telah ditingkatkan ketahanan ausnya dengan implantasi ion berbasis Nitrogen dengan dosis $1,86 \times 10^{17}$ ion/cm²). Pengujian yang dilakukan menggunakan pengujian keausan jenis Pin on Plate Unidirectional Reciprocating Movement dan menggunakan pelumas bovine serum yang berasal dari darah sapi yang telah diambil serumnya dan diencerkan dengan air destilasi dengan perbandingan 25% bovine serum dan 75% air destilasi. Dari hasil pengujian di laboratorium terlihat bahwa jumlah goresan sangat berpengaruh terhadap faktor keausan. Untuk goresan yang sejajar arah gerakan pengujian, faktor keausan goresan ganda 3,1 kali goresan tunggal, sedangkan untuk goresan yang tegak lurus arah gerakan pengujian, faktor keausan goresan ganda 3,7 kali goresan tunggal

Keywords: Cobalt Chrome, Ultra High Molecular Weight Polyethylene, Implantasi Ion, Nitrogen, Keausan, Goresan, Pin on Plate, Faktor Keausan.

1. Pendahuluan

Total knee replacement dibutuhkan apabila sendi lutut sudah tidak dapat berfungsi secara normal. Penggantian ini tidak terlepas dari perkembangan biomaterialnya. Sudah bermacam-macam pengembangan yang dilakukan, baik pengembangan jenis materialnya, maupun perlakuan yang diberikan kepada material sehingga dapat digunakan sebagai biomaterial dalam penggantian sendi buatan. Selama ini jenis-jenis material yang digunakan adalah baja tahan karat (stainless steel), Cobalt Chrome (CoCr), Titanium alloys, dan Polyethylene. Untuk pengembangan perlakuan permukaannya, dilakukan surface treatment misalnya ion implantasi.

Pada sendi lutut buatan yang terbuat dari UHMWPE pada bagian tibial dan CoCr pada bagian femur, terjadi peristiwa keausan yang menghasilkan debris keausan UHMWPE dan CoCr. Volume keausan UHMWPE jumlahnya lebih banyak karena lebih lunak sedangkan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

CoCr lebih keras sehingga volume keausan lebih sedikit. Keausan dari UHMWPE dan jumlah debris yang terjadi mengakibatkan osteolysis atau merupakan penyebab utama kerusakan sendi lutut buatan [1]. Akibatnya, terjadi gangguan kinerja sendi buatan dan gangguan kesehatan bagi penggunanya.

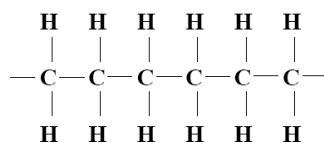
Apabila terjadi partikel debris atau gesekan yang terus menerus, maka akan terjadi goresan yang akan mempengaruhi ketahanan aus dari material. Pada tahun 1987, sebuah percobaan di laboratorium menunjukkan bahwa sebuah goresan tunggal (atau tidak sempurnanya permukaan femoral), dengan kedalaman 7 μm , dimana bergerak dengan arah tegak lurus arah gerakan, dapat meningkatkan laju keausan sebanding dengan ukurannya [2]. Fisher pada tahun 1995 menguji pengaruh goresan pada baja tahan karat 316L terhadap faktor keausan pada UHMWPE dengan menggunakan 2 jenis pengujian, yaitu pin on plate dan pin on disk. Goresan yang dibuat pada baja tahan karat 316L dengan kedalaman 2 μm , lebar 10 μm dan panjang 10 mm pada disk atau 5 mm pada plat. dimana arah goresan tegak lurus arah gerakan. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa faktor keausan untuk pin on disk meningkat 30 kali dan untuk pin on plat meningkat 70 kali bila dibandingkan dengan yang tanpa goresan [3]. Dharmastiti pada tahun 2001 meneliti peningkatan faktor keausan pada gesekan antara logam CoCr dan polyethylene yang telah di die drawn. Untuk yang searah, peningkatan dapat mencapai 4 kali, sedangkan untuk yang tegak lurus, peningkatan dapat mencapai 10 kali [4]. Limbong pada tahun 2008, meneliti bahwa faktor keausan polyethylene dapat meningkat 7 kali bila mengubah orientasi arah goresan dari goresan yang sejajar gerakan pengujian ke goresan yang tegak lurus gerakan pengujian [5].

Berdasarkan perkembangan biomaterial lutut ini, diperlukan penelitian lanjut untuk mengetahui pengaruh jumlah goresan pada CoCr alloy yang permukaannya telah diimplantasi ion berbasis Nitrogen terhadap sifat keausan Die Drawn UHMWPE GUR 1120.

2. Material, Perlakuan dan Metode

2.1 Ultra High Molecular Weight Polyethylene

Polyethylene adalah senyawa organik yang merupakan rantai panjang dari substansi tunggal ethylene $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$. Polyethylene banyak digunakan pada di dunia kedokteran. Keunggulan dari polyethylene adalah memiliki sifat fisik yang baik, yaitu tahan terhadap cacat (cracking resistance), tahan terhadap keausan (wear resistance), memiliki koefisien yang sangat rendah (very low coefficient of friction), ketangguhan bagus (excellent toughness) dan tahan benturan (impact resistance) [6].



Gambar 1 Polyethylene

Meskipun sifat mekanisnya telah meningkat tajam, UHMWPE masih menghasilkan partikel keausan dalam jumlah yang besar. Partikel UHMWPE sangat toxic dan merupakan kontribusi utama dalam kerusakan sendi. Karena tidak dikehendakinya partikel dari

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

UHMWPE, dikembangkan beberapa metode untuk meningkatkan ketahanan ausnya [7]. Contoh dari meningkatkan ketahanan aus adalah dengan die drawing. Ketahanan aus dari UHMWPE meningkat karena orientasi molekuler akan berubah, sehingga sifat mekanis dari UHMWPE akan meningkat dalam arah drawingnya [4].

2.2 Cobalt Chrome dan Perlakuan Permukaan

Walaupun keras, *CoCr* juga dapat mengalami keausan saat bergesekan dengan UHMWPE yang kekerasannya jauh lebih rendah dari logam. Keausan pada permukaan *CoCr* akan meningkatkan kekasaran permukaannya dan menghasilkan partikel keausan. Keduanya secara terpisah maupun bersamaan dapat meningkatkan koefisien gesek, dan meningkatkan keausan yang terjadi baik pada UHMWPE maupun *Cobalt Chrome*.

Salah satu *treatment* yang paling sering dilakukan adalah modifikasi permukaan. Modifikasi permukaan untuk komponen tribologikal bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus permukaan material dan untuk memodifikasi sifat friksionalnya [8]. Modifikasi permukaan *CoCr* diharapkan akan meningkatkan ketahanan ausnya dan menurunkan keausan *CoCr* serta UHMWPE pasangannya. Dua jenis pendekatan modifikasi permukaan digunakan pada komponen implantasi [9], yaitu melapisi permukaan komponen logam dengan bahan yang lebih tahan aus (*sputtering* dan *plasma nitriding*) dan mengeraskan permukaan dengan mengubah komposisi permukaan komponen logam dengan adanya elemen yang terdifusi *ion implantation*.

Pada proses implantasi ion nitrogen, bahan penambah yang diberikan akan bereaksi dengan bahan yang diimplantasikan, dalam hal ini ion-ion yang berenergi tinggi akan dicangkokkan ke bahan padat dengan bantuan akselerator ion sehingga terjadi penyusupan ion dan terbentuk senyawa ion dopan dengan atom target yang keras. Berbeda dengan metode yang lain seperti *sputtering*, implantasi ion bisa dikatakan tidak membentuk lapisan di permukaan substrat sehingga tidak merubah kekasaran permukaan [10]. Dosis (1) ion nitrogen pada proses implantasi ion yang diberikan pada material tergantung dari arus ion dan waktu implantasi.

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Arus} \times \text{waktu}}{\text{muatan elektron} \times \text{luasan berkas alat implantasi}} \quad (1)$$

2.3 Keausan

Keausan didefinisikan sebagai kehilangan substansi secara progresif dari permukaan benda akibat gerak relatif dari permukaan tersebut terhadap benda lain. Pada komponen UHMWPE, jenis keausan yang terjadi adalah yaitu *surface deformation*, *burnishing*, *scratching*, *abrasion* dan *delaminasi* [4]. Pada komponen logam, keausan dimungkinkan terjadi karena adanya komponen lain yang berfungsi sebagai bahan abrasif yang merusak permukaannya. Dengan munculnya bahan abrasif diantara komponen pasangan gesek, maka akan terbentuk *three-body abrasive wear* [7].

Penguji keausan *Pin On Plate Unidirectional Reciprocating Movement* merupakan alat yang efektif untuk pengujian yang mendekati gerakan lutut. Data yang bisa diperoleh dari

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

pengujian ini adalah pengurangan berat akibat keausan dan diolah menjadi volume keausan (2) dan faktor keausan (3).

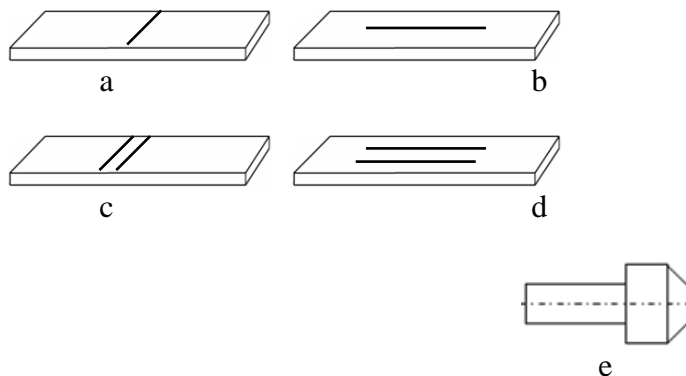
$$\text{Volume keausan} = \frac{\text{berat keausan}}{\text{berat jenis}} \quad (2)$$

$$\text{Faktor keausan} = \frac{\text{volume keausan}}{\text{beban} \times \text{jarak tempuh}} \quad (3)$$

2.4 Metodologi

CoCr dibuat berbentuk plat tipis yang dipolish. CoCr tersebut diimplantasi ion Nitrogen dengan dosis $1,86 \times 10^{17}$ ion/cm². Plat tersebut kemudian digores sejajar dan tegak lurus arah gerakan pengujian dengan sebanyak satu dan dua goresan (gambar 2a, 2b, 2c dan 2d).

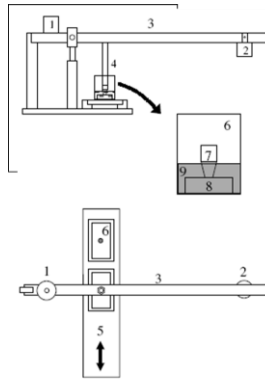
Polyethylene yang digunakan adalah UHMWPE yang diproses *die drawing* dengan *drawing ratio* 1.5 (15:10), kecepatan penarikan 20 mm/dtk pada temperatur 110 °C. *Polyethylene* tersebut kemudian dipotong berbentuk silinder dengan ujung kerucut (gambar 2e).



Gambar 2. Bahan-bahan Uji

- a. Single perpendicular scratch
- b. Single parallel scratch
- c. Double perpendicular scratch
- d. Double parallel scratch
- e. UHMWPE

Pengujian keausan dilakukan dengan alat uji keausan jenis Pin on Plate Unidirectional Reciprocating Movement (gambar 3). Pengujian ini dilakukan hingga jarak tempuh pin 35km. Selama proses pengujian, pin diberi beban 180 N. Proses penimbangan dilakukan setiap menempuh jarak 5 km. Pelumas yang digunakan selama pengujian adalah campuran 25% bovine serum dengan 75% air destilasi Bovaine serum yang digunakan merupakan serum yang berasal darah sapi.

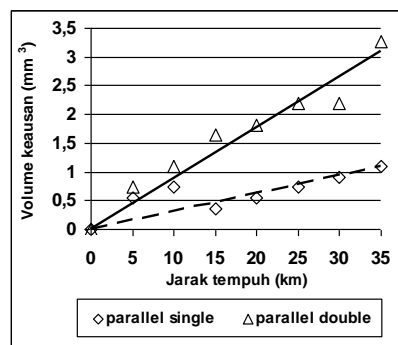


- Keterangan :
1. beban penyeimbang
 2. beban utama
 3. lengan beban
 4. pemegang pin UHMWPE
 5. landasan dan arah gerak
 6. kotak pelumas
 7. pin UHMWPE
 8. plat CoCr
 9. pelumas bovine

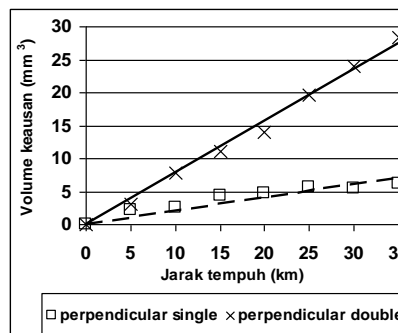
Gambar 3. Alat Uji Keausan

3. Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian di laboratorium, terlihat bahwa secara umum volume keausan UHMWPE meningkat dengan adanya penambahan jumlah goresan pada permukaan plat *Cobalt Chrome*. Hal tersebut dibuktikan pada gambar 4. Pada kedua gambar tersebut, untuk goresan yang arah goresnya sejajar dengan arah pengujian keausan ataupun untuk goresan yang arah goresannya tegak lurus dengan arah pengujian keausan, volume keausan untuk goresan ganda terlihat lebih tinggi daripada goresan tunggal.



a

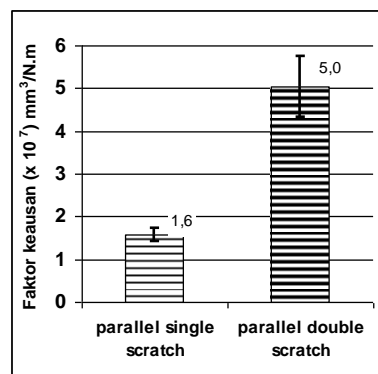


b

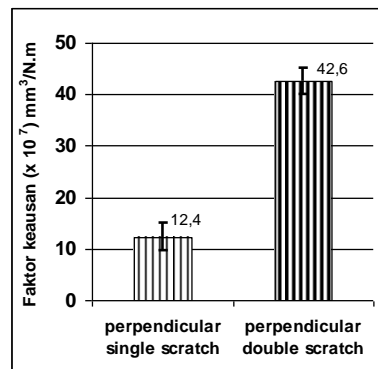
Gambar 4. Volume Keausan UHMWPE

- a. Parallel scratch
- b. Perpendicular scratch

Dari gambar 4 di atas terlihat bahwa pada awalnya terjadi keausan yang besar. Keausan UHMWPE itu terjadi karena merupakan awal terjadi keausan. Setelah melewati jarak tempuh 10 km, keausan yang terjadi menunjukkan keausan yang stabil. Kestabilan volume keausan UHMWPE itu dibuktikan dengan kestabilan faktor keausan setelah jarak tempuh 10 km.



a



b

Gambar 5. Faktor Keausan UHMWPE

- a. Parallel scratch
- b. Perpendicular scratch

Hal peningkatan volume keausan UHMWPE juga diperkuat bila melihat gambar 5. Untuk goresan pada plat CoCr yang arah goresannya sejajar arah pengujian keausan, faktor keausan UHMWPE untuk goresan ganda 3,1 kali goresan tunggal. (gambar 5.a). Untuk goresan yang arah goresannya tegak lurus arah pengujian keausan, faktor keausan UHMWPE untuk goresan ganda 3,7 kali goresan tunggal (gambar 5.b)

Pada umumnya jumlah goresan pada permukaan CoCr dapat meningkatkan nilai faktor keausan dari UHMWPE. Dari gambar 4 dan gambar 5 membuktikan bahwa peningkatan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

terjadi untuk arah goresan yang sejajar ataupun tegak lurus gerakan pengujian keausan. Hal ini terjadi karena dengan menambah goresan, jelas akan menambah luas permukaan pada CoCr yang bergesekan. Dengan adanya penambahan luas permukaan yang bergesekan pada plat CoCr yang bergesekan, tentu saja akan menambah jumlah keausan UHMWPE. Selain itu, dengan adanya penambahan jumlah goresan, akan membuat beban yang terjadi akan terbagi pada luas profil goresan. Akibatnya resistansi terhadap keausan untuk plat CoCr akan bertambah.

Pada umumnya arah goresan pada permukaan Cobalt Chrome berpengaruh pada nilai faktor keausan dari UHMWPE. Faktor keausan UHMWPE tinggi untuk keadaan goresan yang tegak lurus gerakan pengujian. Faktor keausan UHMWPE tinggi terjadi karena efek dari die drawn UHMWPE yang membuat sifat mekanis UHMWPE menguat searah die drawn yang tentu saja dikondisikan searah gerakan pengujian. Akibatnya, efek mekanis pada arah tegak lurus justru melemah karena orientasi molekulat UHMWPE lebih banyak yang ke arah die drawn. Akibatnya justru faktor keausan UHMWPE untuk goresan yang arah tegak lurus dapat meningkat.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium, jumlah goresan pada permukaan CoCr (yang telah diimplantasi ion berbasis nitrogen) mempengaruhi sifat keausan die drawn UHMWPE GUR 1120 dimana semakin banyak goresan pada CoCr akan meningkatkan sifat keausan dari pin UHMWPE. Jumlah goresan pada CoCr mempengaruhi sifat keausan UHMWPE. Untuk goresan yang sejajar arah gerakan pengujian keausan, faktor keausan goresan ganda 3,1 kali goresan tunggal. Untuk goresan yang tegak lurus gerakan pengujian keausan, faktor keausan goresan ganda 3,7 kali goresan tunggal. Perubahan sifat keausan tentu saja akan mempengaruhi umur pakai (lifetime) dari UHMWPE yang merupakan bahan sendi lutut buatan.

Referensi

- [1] Fisher, J., *Wear of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene*, Current Orthop., 8 (1994) 164-169.
- [2] Dowson, D., Taheri, S., *The Role of Counterface Imperfections in The Wear of Polyethylene*, Wear, 119 (1987) 227-293.
- [3] Fisher, J., *The Influence of Scratches to Metallic Counterfaces on The Wear of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*, IMechE Journal of Engineering in Medicine, vol 209 (1995) 63-64.
- [4] Dharmastiti, R., Barton, D.C., Fisher, J., Edidin, A., dan Kurtz, S., *The Wear of Oriented UHMWPE under Isotropically Rough and Scratched Counterface Test Conditions*, Bio-Medical Materials and Engineering, 11(2001) 241-256.
- [5] Limbong, I.S., Dharmastiti, R., dan Sujitno, B.A.T., *Pengaruh Goresan pada CoCr Alloy yang Diimplantasi Ion Berbasis Nitrogen Terhadap Sifat Keausan Die Drawn GUR 1120 UHMWPE Untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan*, Proc. Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri, 14 (2008) 56-61.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- [6] Batista, G., Ibarra, M., Ortiz, J., dan Villegas, M., *Engineering Biomechanics of Knee Replacement*, Applications of Engineering Mechanics in Medicine, GED, University of Puerto Rico (2004).
- [7] Alhassan, S., dan Goswami, T., *Wear Rate Model for UHMWPE in Total Joint Applications*, *Wear*, 265 (2007) 8-13.
- [8] Hutchings, I.M., *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Arnold, London (1995).
- [9] Dearnley, P. A., *A Review of Metallic, Ceramic and Surface Treated Metal Used for Bearing Surface in Human Joint Replacement*, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 213 Part II (1999).
- [10] Wahyudianto, F.X.A., *Pengaruh Implantasi Ion Berbasis Nitrogen pada Cobalt Chrome Alloy terhadap Keausan Die Drawn UHMWPE*, Publikasi UGM, Yogyakarta (2006).