

Perubahan Faktor Keausan *Die Drawn* UHMWPE Akibat Tegangan Kontak untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan

Jefri S. Bale

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang
E-mail: jefri_bale@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan kontak terhadap faktor keausan *die drawn* GUR 1120 UHMWPE berpasangan dengan *cobalt chrome alloy* yang diimplantasi ion berbasis nitrogen menggunakan pin *on plate unidirectional reciprocating movement wear test*. Pin *die drawn* UHMWPE dibebani sehingga menghasilkan tegangan kontak berkisar 5 MPa, 9 MPa dan 12 MPa dengan kecepatan gesekan konstan 116,5 mm/dtk. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa faktor keausan UHMWPE akan menurun seiring dengan meningkatnya tegangan kontak. Tegangan kontak terkecil (5 MPa) menghasilkan faktor keausan rata-rata UHMWPE yang terbesar yaitu $2,67 \times 10^{-7}$ mm³/Nm. Perbedaan nilai faktor keausan ini disebabkan karena peningkatan tegangan kontak merubah mekanisme keausan pada permukaan kontak. Tegangan kontak terkecil di dominasi mekanisme *abrasive wear* sedangkan seiring peningkatan tegangan kontak mekanisme keausan didominasi oleh *burnishing wear mechanism* serta adanya mekanisme *surface deformation wear*.

Kata kunci: Faktor keausan, tegangan kontak, *die drawn* UHMWPE, *cobalt chrome alloy*, implantasi ion nitrogen.

ABSTRACT

The aim of this research is to study the effects of contact stress on the wear of die drawn UHMWPE GUR 1120 against nitrogen ion implanted cobalt chrome alloy used pin on plate unidirectional reciprocating movement wear test. A constant load was applied to each UHMWPE pin to produce a contact stress, whereas the contact stress was varied of 5 MPa, 9 MPa and 12 MPa with constant sliding velocity of 116.5 mm/s. The result shows the wear factor decreasing with increasing contact stress. The lowest contact stress (5 MPa) gives the highest wear factor that is: 2.67×10^{-7} mm³/Nm. The different wear factor is caused by increasing contact stress changed wear mechanism of surface contact. The lowest contact stress dominated by abrasive wear mechanism while along increasing contact stress changing the dominate wear mechanism into burnishing wear mechanism and also surface deformation wear mechanism.

Keywords: Wear factor, contact stress, *die drawn* UHMWPE, *cobalt chrome alloy*, nitrogen ion implantation.

PENDAHULUAN

Dalam melakukan berbagai aktifitas sesuai fungsinya, sendi lutut akan mengalami perubahan tegangan kontak akibat pembebanan pada komponen femur dan tibial [1]. Penyakit seperti *osteoarthritis*, proses penuaan ataupun kecelakaan dapat menyebabkan sendi lutut tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam tingkatan kerusakan tertentu dimana *cartilage* mengalami keausan secara menyeluruh, maka penggunaan sendi tiruan menjadi pilihan. Material *cobalt chrome alloy* dan

UHMWPE adalah salah satu pasangan material yang paling sering digunakan untuk menggantikan sendi lutut tiruan pada manusia [2]. Dalam penggunaannya, keausan material UHMWPE merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi umur pakai sendi lutut tiruan serta dapat menyebabkan *osteolysis* [2]. Masalah yang timbul diatas perlu diteliti dalam hubungannya dengan upaya untuk mengurangi terjadinya keausan pada komponen pengganti pada sendi lutut tiruan antara *cobalt chrome alloy* dan UHMWPE. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi sifat mekanis

dari kedua material tersebut untuk meningkatkan kekerasan, kehalusan permukaan dan menurunkan nilai faktor keausan.

Pada material logam, salah satu proses peningkatan kekerasan material yang dapat dilakukan adalah proses implantasi ion. Pada proses ini ion yang digunakan dipercepat dalam medan elektrostatis kemudian ditembakkan ke permukaan target sehingga dapat meningkatkan kekerasannya dan ketahanan aus [3]. Wahyudianto meneliti tentang pengaruh modifikasi permukaan untuk material *cobalt chrome alloy* yang diimplantasi ion berbasis nitrogen terhadap sifat keausan UHMWPE [4]. Dalam penelitiannya disimpulkan bahwa implantasi ion N₂ mempunyai kekerasan yang paling optimum dan nilai faktor keausan yang paling baik dari UHMWPE dibandingkan dengan TiN dan AlN.

Sementara itu, Dharmastiti R., *et.al.*, melakukan penelitian untuk meningkatkan sifat ketahanan aus UHMWPE dengan metode *die drawing*. Pemrosesan material UHMWPE dengan *die drawing* yang menghasilkan *oriented* UHMWPE yang dapat menurunkan faktor keausan hingga 25% dibanding material asli [5].

Berdasarkan hasil studi literatur yang sudah dilakukan, penelitian ini mencoba untuk menyelidiki parameter tertentu yaitu tegangan kontak yang dapat mempengaruhi faktor keausan material UHMWPE. Dalam penelitian ini, material GUR 1120 UHMWPE yang digunakan sudah melalui proses *die drawing* dan diuji menggunakan *pin on plate wear test* dengan pasangan pelat *cobalt chrome alloy* yang diimplantasi ion nitrogen. Alat uji ini akan melakukan *sliding motions unidirectional movement* untuk meniru gerakan bergesekan antara komponen *femoral* dan komponen *tibial* pada sendi lutut sesungguhnya. Variasi pembebanan dilakukan pada alat uji untuk menghasilkan nilai tegangan kontak yang berbeda dan kemudian diteliti bagaimana pengaruhnya terhadap faktor keausan material.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Logam

Pada penelitian ini spesimen yang dibuat adalah *cobalt chrome alloy* dipotong dengan ukuran 13 x 55 mm dengan ketebalan 2 mm berbentuk pelat, dimana ukuran ini untuk menyesuaikan dengan alat uji aus dan tempat benda uji pada alat implantor ion. Pelat *cobalt chrome alloy* kemudian dilakukan implantasi N₂. Spesimen hasil implantasi yang akan digunakan untuk uji keausan menggunakan dosis yang memiliki nilai kekerasan

optimum, yaitu nilai optimum ini diperoleh dari implantasi ion dengan energi penyinaran 100 keV dan lama penyinaran 90 menit [4].

Polyethylene

Polyethylene yang digunakan adalah GUR 1120 UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*) dengan berat molekul $4,4 \times 10^6$ g/mol dan berat jenis $9,16 \times 10^{-4}$ gr/mm³ yang diproses *die drawing* dengan *drawing ratio* 1,5 (15:10), kecepatan penarikan 20 mm/dtk dengan temperatur 110 °C, dan dibuat berbentuk pin searah penarikan sebagai pin uji dan pin kontrol [5].

Synovial fluid

Campuran 25% *bovine serum* dengan 75% air destilasi digunakan sebagai pelumas pada uji keausan. Serum berasal dari darah sapi kemudian diekstraksi menggunakan alat *centrifuge* yang akan memisahkan serum dari sel darah [5].

Prosedur Penelitian

Cobalt chrome alloy yang telah dipotong sesuai ukuran, diukur kekerasannya menggunakan *Microvickers hardness tester* kemudian dipolis hingga halus dan diukur kekasaran permukaannya hingga mencapai kekasaran 0,1–0,2 µm yang dapat diketahui dengan *Profilometer*. Bagian material *cobalt chrome alloy* yang diukur kekasarannya ditandai dan disesuaikan dengan yang dilalui pin *die drawn* UHMWPE pada saat pengujian. selanjutnya diimplantasi ion berbasis nitrogen (N₂) menggunakan alat implantor ion dengan kekerasan yang optimum untuk mengimplantasi *cobalt chrome alloy* yang akan digunakan sebagai spesimen uji aus. Setelah itu diukur kembali kekerasan dan kekasaran permukaan *cobalt chrome alloy* hasil implantasi ion mengetahui perubahan permukaan bahan, sedangkan *die drawn* UHMWPE dibuat berbentuk pin dengan searah penarikan saat *die drawing*. *Cobalt chrome alloy* dan *die drawn* UHMWPE selanjutnya diuji ketahanan aus dengan menggunakan alat uji keausan jenis *pin on plate unidirectional movement* dengan 2 pasang spesimen yang diuji secara bersamaan dimana pembebanannya divariasikan pada besaran 180 N, 353 N dan 462 N dengan melakukan penambahan beban pada batang lengan alat uji. Beban yang diberikan menghasilkan tegangan kontak berkisar 5, 9 dan 12 Mpa yang merupakan *range* nilai tegangan kontak pada komponen sendi lutut untuk 1 *gait cycle* [1] dan nilai tegangan di bawah *yield strength* dari UHMWPE [5] dengan kecepatan konstan 116,5 mm/s. Pin *die drawn* UHMWPE dalam kondisi diam pada saat

pengujian. Pengujian ini dilakukan hingga mencapai 1.400.000 langkah dengan interval 200.000 langkah menggunakan pelumas, kemudian dihentikan untuk menimbang pin uji dan pin kontrol. Pelat *Cobalt chrome alloy* kemudian dilakukan lagi pengujian kekerasan permukaan untuk setiap interval pengujian pada bagian yang sama yang telah ditandai pada saat sebelum pengujian.

Pada saat penimbangan berat keausan, spesimen keausan dan spesimen kontrol terlebih dahulu dibersihkan dengan alkohol dan *ultrasonic cleaner* kemudian dikeringkan. Pin UHMWPE ditimbang dengan timbangan berketelitian 1 miligram menggunakan *Electronic Balance*. Perubahan berat pada spesimen kontrol dikompensasikan pada perhitungan pengurangan berat spesimen keausan sehingga pengurangan berat yang dicatat adalah jumlah dari pengurangan berat spesimen uji dan berat cairan yang diserap selama pengujian. Cairan pelumas yang telah digunakan diangkat dari wadah dan disimpan dalam wadah tertentu. Siklus ini diulangi lagi hingga 7 kali pengujian dimana setiap kali pengujian menggunakan pelumas yang baru dan penimbangan awal spesimen uji dilakukan dengan terlebih dahulu dibersihkan dengan alkohol dan alat *ultrasonic cleaner*.

Berdasarkan berat keausan pin *die drawn* UHMWPE yang dihasilkan tiap siklus, maka data tersebut kemudian diolah menjadi volume keausan dan faktor keausan melalui persamaan:

$$\text{Volume Keausan} = \frac{\text{berat keausan (g)}}{\text{berat jenis } \left(\frac{\text{g}}{\text{mm}^3}\right)} \quad (1)$$

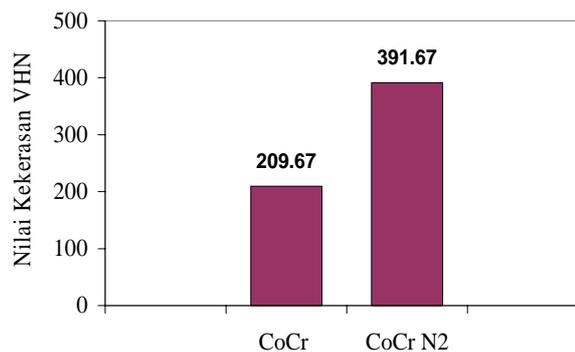
$$\text{Faktor Keausan} = \frac{\text{volume keausan (mm}^3\text{)}}{\text{beban (N) x jarak tempuh (m)}} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

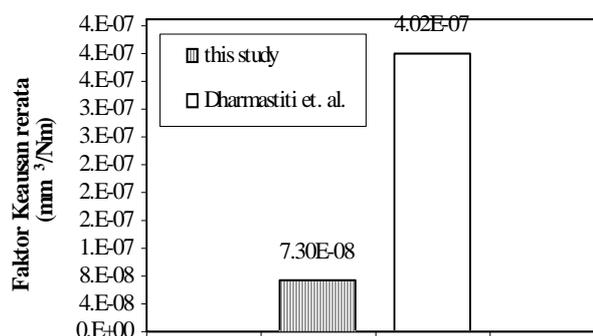
Kekerasan *Cobalt Chrome Alloy* dan Keausan *Die Drawn* UHMWPE

Pengujian kekerasan mikro menunjukkan peningkatan kekerasan *cobalt chrome alloy* sebesar 90 % dari 209,67 VHN menjadi 391,67 VHN setelah dilakukan proses implantasi ion nitrogen.

Peningkatan kekerasan *cobalt chrome alloy* menyebabkan berkurangnya keausan pada permukaan ketika dilakukan pengujian keausan. Hal ini disebabkan karena berkurangnya *wear debris* yang berasal dari *cobalt chrome alloy* yang telah mengalami peningkatan kekerasan dimana *wear debris* tersebut berfungsi sebagai bahan *abrasive* dalam mekanisme *three body abrasive wear* antar permukaan gesekan sehingga menurunkan nilai faktor keausan *die drawn* UHMWPE ketika diuji berpasangan pada pengujian keausan.



Gambar 1. Nilai Kekerasan VHN *Cobalt Chrome Alloy* Masing-masing Kondisi Permukaan



Gambar 2. Faktor Keausan untuk Material *Cobalt Chrome Alloy* Tanpa Implantasi [5] dan *Cobalt Chrome Alloy* Hasil Implantasi dari Penelitian ini

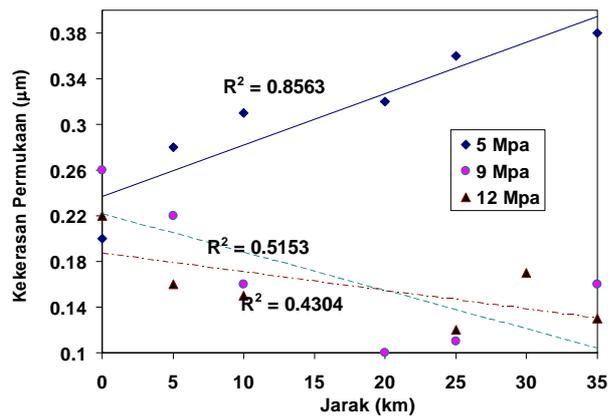
Perbandingan nilai faktor keausan untuk material *die drawn* UHMWPE dan *cobalt chrome alloy* tanpa implantasi dari penelitian terdahulu [4] dan nilai faktor keausan dari penelitian ini untuk kondisi pengujian yang sama dengan nilai tegangan kontak yang digunakan 9 MPa dapat dilihat pada Gambar 2.

Tegangan Kontak, Kekasaran Permukaan *Cobalt Chrome Alloy* dan Keausan *Die Drawn* UHMWPE

Dari hasil pengujian keausan dengan kondisi tegangan kontak yang berbeda, kekasaran permukaan (R_a) menunjukkan perubahan seperti pada Gambar 3.

Pengujian ini menunjukkan adanya perubahan kekasaran permukaan *cobalt chrome alloy* yang terjadi setelah pengujian dengan kondisi tegangan kontak yang berbeda. Peningkatan tegangan kontak dalam pengujian mempengaruhi mekanisme perubahan kekasaran permukaan dari *cobalt chrome alloy*.

Untuk kondisi tegangan kontak 5 MPa, kekasaran permukaan *cobalt chrome alloy* mengalami peningkatan setelah pengujian. Peningkatan kekasaran permukaan meningkatkan volume keausan



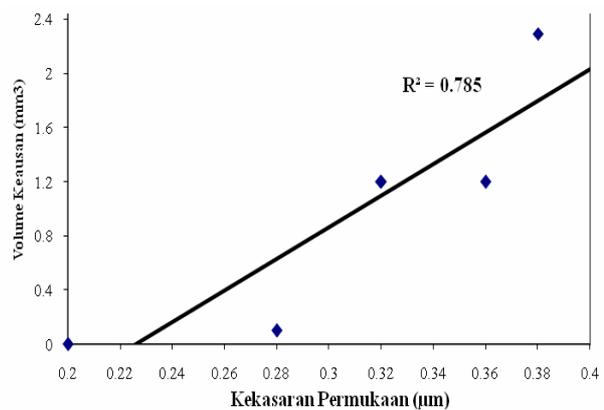
Gambar 3. Kekasaran Permukaan Cobalt Chrome Alloy Terhadap Jarak Pengujian untuk Masing-masing Kondisi Tegangan Kontak

dari UHMWPE. Kekasaran permukaan cobalt chrome alloy akan berfungsi seperti indentor yang merusak permukaan UHMWPE sehingga menghasilkan jejak keausan yang terdeteksi sebagai berat keausan pada saat penimbangan pin die drawn UHMWPE setelah pengujian. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4 yang memperlihatkan bahwa meningkatnya kekasaran permukaan akan mempengaruhi keausan UHMWPE.

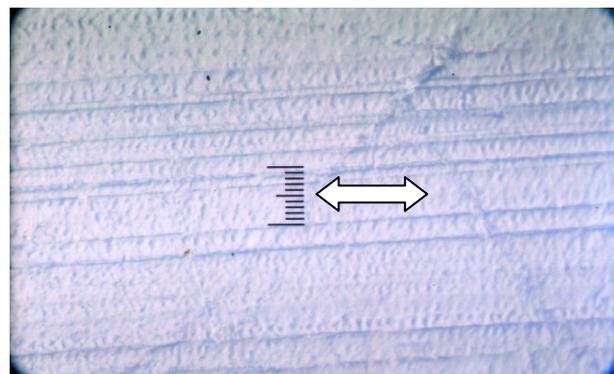
Peningkatan volume keausan akibat gesekan antar permukaan akan menghasilkan wear debris yang semakin banyak sehingga mempengaruhi kekasaran permukaan cobalt chrome alloy dan keausan dari die drawn UHMWPE, dimana wear debris akan berfungsi sebagai bahan abrasive. Wear debris tersebut akan berada diantara permukaan gesekan cobalt chrome alloy dan die drawn UHMWPE sehingga membentuk mekanisme keausan three body abrasive wear. Selain perubahan kekasaran permukaan akibat goresan yang terjadi pada permukaan cobalt chrome alloy, pengaruh dari partikel abrasive juga terlihat pada bentuk keausan yang terjadi pada permukaan pin die drawn UHMWPE terutama pada kondisi tegangan kontak 5 MPa. Permukaan pin die drawn UHMWPE terlihat jejak keausan berupa bekas goresan searah gesekan (ditandai anak panah) yang menunjukkan ciri keausan akibat partikel abrasive yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada saat terjadi peningkatan tegangan kontak akibat pembebanan, kekasaran permukaan cobalt chrome alloy cenderung menurun setelah pengujian. Seiring dengan peningkatan pembebanan pada pin die drawn UHMWPE, permukaan gesekan akan semakin terkonfirmasi secara sempurna sehingga kontak asperity antar permukaan akan menyebabkan terjadinya mekanisme highly polished yang saling menghaluskan. Proses menghaluskan antar permukaan ini bisa saja ditimbulkan karena terjadi perubahan bentuk atau deformasi plastis pada

permukaan sehingga tidak mengurangi volume dari pin die drawn UHMWPE. Adapun dalam kondisi tegangan kontak yang belum terlalu tinggi, gesekan tetap menghasilkan wear debris yang berfungsi sebagai bahan abrasive yang akan merubah kekasaran permukaan cobalt chrome alloy sehingga tetap menghasilkan volume keausan. Akan tetapi, karena terjadi peningkatan tegangan kontak yang semakin besar, wear debris yang dihasilkan tidak memiliki celah yang cukup untuk merusak permukaan gesekan dan meninggalkan permukaan dan kemungkinan terjebak pada permukaan gesekan. Mekanisme ini menyebabkan wear debris tidak seluruhnya dapat terukur sebagai berat keausan.



Gambar 4. Hubungan antara Kekasaran Permukaan dan Volume Keausan untuk Kondisi Tegangan Kontak 5 MPa



Gambar 5. Foto Mikro Permukaan Pin Die Drawn UHMWPE dengan Kondisi Tegangan Kontak 5 MPa Perbesaran 500X

Pada tegangan kontak 9 MPa, celah antar permukaan gesekan masih memungkinkan wear debris untuk berfungsi sebagai bahan abrasive yang meninggalkan jejak keausan pada permukaan gesekan. Hal ini dapat dilihat dari hasil foto mikro pin die drawn UHMWPE pada Gambar 6. Pada permukaan pin die drawn UHMWPE terlihat jejak keausan abrasive yang lebih sedikit dibandingkan

dengan permukaan pin pada tegangan kontak 5 MPa.

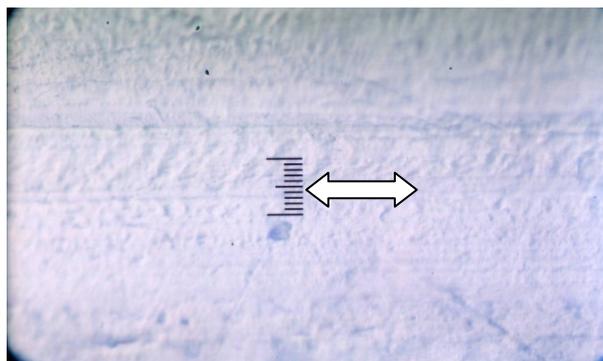
Selain jejak keausan karena *three body abrasive wear*, permukaan pin juga bertambah halus sebagai ciri-ciri dari timbulnya mekanisme *burnishing wear* karena *highly polished* antar permukaan yang diakibatkan tegangan kontak yang semakin besar.

Pada tegangan kontak 12 MPa juga menghasilkan mekanisme *highly polished* yang saling menghaluskan antar permukaan gesekan yang bisa saja diakibatkan terjadinya *surface deformation wear* yang dominan pada permukaan gesekan sehingga semakin kecil adanya volume keausan yang terukur. Celah antar permukaan gesekan akan menjadi sangat kecil sekali sehingga hampir tidak memungkinkan *wear debris* yang kemungkinan masih dihasilkan untuk merusak permukaan gesekan sebagai bahan *abrasive* dan meninggalkan permukaan gesekan sebagai berat keausan yang akan terukur pada saat penimbangan. Mekanisme ini dapat dilihat dari hasil foto mikro permukaan pin *die drawn* UHMWPE pada Gambar 7.

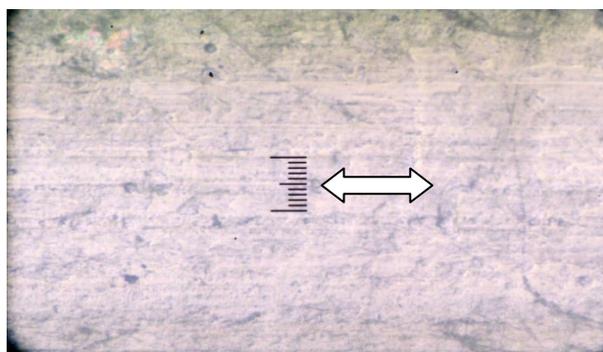
Permukaan gesekan yang semakin halus pada kondisi tegangan kontak 12 MPa menyebabkan mekanisme keausan tidak lagi didominasi oleh *abrasive wear mechanism*. *Wear debris* yang dihasilkan hampir tidak menggores permukaan gesekan, akan tetapi menempel pada permukaan pin *die drawn* UHMWPE sehingga menimbulkan jejak keausan berupa *pitting wear mechanism*.

Permukaan pin *die drawn* UHMWPE nampak perubahan bentuk pada permukaan serta jejak keausan berupa lubang-lubang dengan kondisi tidak teratur yang merupakan ciri-ciri dari *pitting wear mechanism* yang dapat dilihat pada Gambar 7a. Profil permukaan pin dapat dilihat pada Gambar 7b. Partikel *abrasive* yang kemungkinan masih menempel dan keausan (lubang-lubang) dihasilkan berukuran kecil serta kondisi permukaan yang juga mengalami *surface deformation wear*, sehingga pada saat penimbangan pin *die drawn* UHMWPE menghasilkan volume keausan yang kecil sekali. Mekanisme ini menjadi alasan menurunnya faktor keausan yang berdasarkan berat keausan (partikel yang terlepas) seiring dengan adanya peningkatan tegangan kontak pada pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 8.

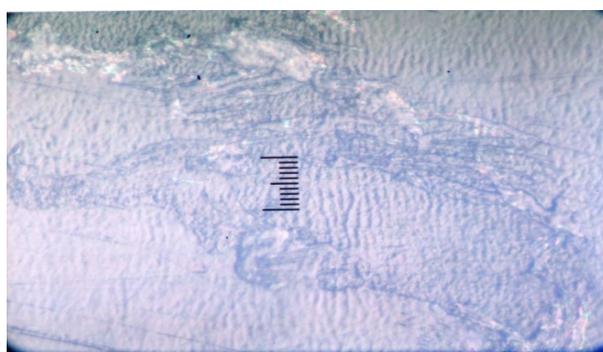
Secara klinis, peningkatan tegangan kontak yang disebabkan peningkatan berat badan untuk pengguna sendi lutut tiruan mengurangi resiko penyakit *osteolysis* akibat *wear debris* sebagai partikel asing pada lingkungan sendi lutut tiruan. Akan tetapi peningkatan berat badan dapat menyebabkan terjadinya mekanisme keausan yang lain. Deformasi plastis pada permukaan UHMWPE dapat menginisiasi timbulnya kerusakan secara mikro seperti *micro crack* atau *delamination wear* yang dapat menyebabkan *failure* pada material sendi lutut tiruan.



Gambar 6. Foto Mikro Permukaan Pin Die Drawn UHMWPE dengan Kondisi Tegangan Kontak 9 MPa Perbesaran 500X

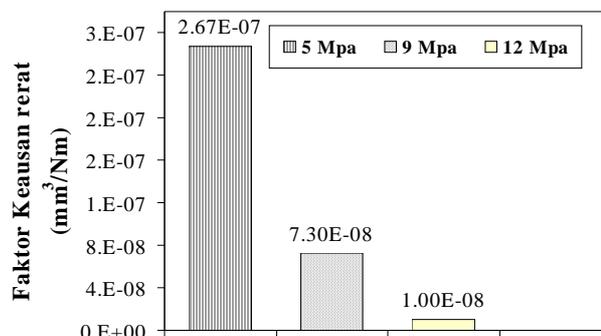


(a)



(b)

Gambar 7. Foto Mikro Permukaan Pin Die Drawn UHMWPE dengan Kondisi Tegangan Kontak 12 MPa Perbesaran 100X (a) dan 500X (b)



Gambar 8. Faktor Keausan Rerata Pin Die Drawn UHMWPE

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa faktor keausan *die drawn* UHMWPE akan menurun seiring dengan meningkatnya tegangan kontak pada pengujian aus ketika berpasangan dengan material *cobalt chrome alloy* yang telah diimplantasi ion nitrogen. Hal ini disebabkan karena terjadi perubahan mekanisme keausan pada permukaan kontak dimana pada tegangan kontak terkecil di dominasi mekanisme *abrasive wear* yang menghasilkan faktor keausan yang lebih tinggi, sedangkan seiring peningkatan tegangan kontak mekanisme keausan didominasi oleh mekanisme *burnishing wear* dan *surface deformation wear* yang menghasilkan faktor keausan yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Paul J. P., *Force Actions Transmitted by Joints in the Human Body*, Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, Vol. 192, No. 1107, 1976.
2. Fang H., Hsu S. M., dan Sengers J. V., *Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Wear Particle Effects on Bioactivity*, NIST Special Publication 1002, 2003.
3. Hutchings I.M., *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, Arnold, London, 1995.
4. Wahyudianto A., *Pengaruh implantasi ion berbasis nitrogen pada cobalt chrome alloy terhadap sifat keausan die drawn GUR 1120 UHMWPE*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2006.
5. Dharmastiti, R., Barton, D.C., Fisher, J., Eddin, A., dan Kurtz, S., *The Wear of Oriented UHMWPE under Isotropically Rough and Scratched Counterface Test Conditions*, Bio-Medical Materials and Engineering 11, hal. 241 – 256, 2001.