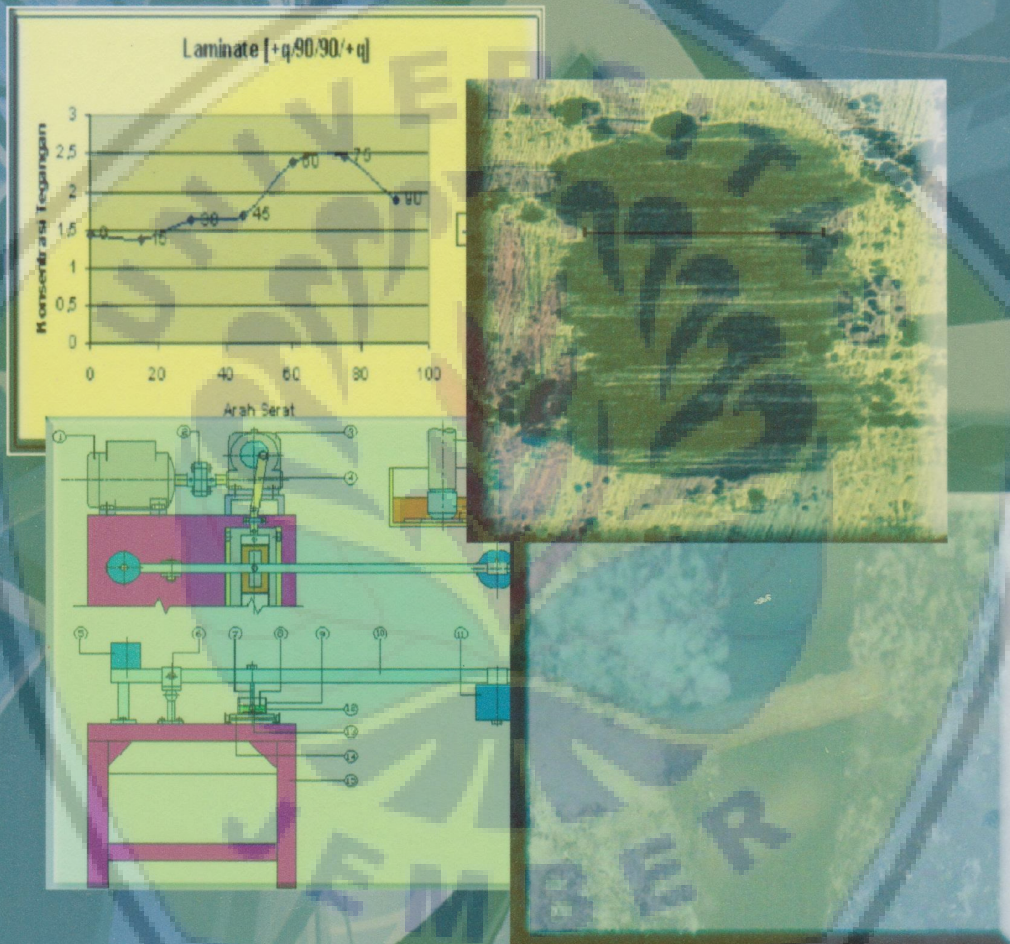


ROTOR

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 1, Nomor 2, Juli 2008



ROTOR	Volume 1	Nomor 2	Halaman 1 - 70	Jember Juli 2008	ISSN 1979 - 018X
-------	----------	---------	-------------------	---------------------	---------------------

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Jember

JURNAL ROTOR

Volume 1, Nomor 2 , Juli 2008

DEWAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember

Pimpinan Redaksi : Agus Triono, ST. , MT.

Sekretaris Redaksi : Gaguk Jatisukamto, ST. MT.

Penyunting Ahli : Dr. Ir. Djarot Widagdo (ITB)
Ir. Toto Indriyanto, M.Sc., Ph.D. (ITB)
Dr. Ir. Rachman Setiawan (ITB)
Dr. Ir. R. Sudaryanto, DEA (UNEJ)

Anggota Redaksi : Ir. Digdo Listiyadi S., M.Sc.
Mahros Darsin, ST., M. Sc.
R. Koekoeh KW, ST. M. Eng.
Santoso Mulyadi, ST. MT.
Ir. Ahmad Syuhri, MT
Robertus Sidartawan, ST
Sumarji ST, MT.
Ir. FX. Kristiana
Boy Arief F. , ST, MT
Hari Arbiantara, ST. MT.
Aris Zainul Muttaqin, ST.
Hari Sutjahjono, ST.
Muh. Nurkoyim K., ST. MT.
Ir. Dwi Djumhariyanto
Nasrul Ilminafik, ST. MT.
Dedi Dwilaksana, ST.
Andi Sanata, ST. MT.
Yuni Hermawan, ST. MT.
Salahudin Junus, ST. MT.
Agus Hermansyah, ST.

Alamat Redaksi : Jalan Slamet Riyadi no. 62 Jember 68111
Telp. (0331) 421043, Fax. (0331) 421043
E-mail : agustriono3@gmail.com

Jurnal Ilmiah Rotor merupakan salah satu sarana bagi para profesional baik dari dunia usaha, pendidikan ataupun peneliti untuk menyebarluaskan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik mesin melalui publikasi hasil penelitian.

DAFTAR ISI

1. Pengaruh *Holding Time* Dan Media *Quenching* Pada Proses Carburizing Terhadap Sifat Mekanik Keausan Baja ASTM A36 Sebagai Bahan Pembuatan *Sproket*
 Digdo Listyadi S., Santoso Mulyadi, Amri Y Fathoni 1 - 9
2. Peranan Subyektifitas Pimpinan Dalam Pemilihan Alternatif Sistem Terbaik Pada Sistem Pengelolaan Tool di PT X
 Hari Arbiantara 10 - 19
3. Konsumsi Bahan Bakar Minyak Pada Lokomotif Kereta Api
 Taufik Hidayat 20 - 28
4. Peningkatan Nilai Tambah Sabut Kelapa Sebagai Bahan Biokomposit Untuk Bahan Pengganti Logam
 R.Koekoeh K.W., Sumarji, Salahuddin Yunus 29 - 37
5. Pengaruh Variasi Suhu Aging Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Torak Indopart 4 ST-E1631-00
 Subardi, Djoko Suprijanto, Prasetyo Dwi Haryanto 38 - 46
6. Metode Elemen Hingga Untuk Prediksi Deformasi Benda Kerja dan Gaya Reaksi Dalam Sistem Fixture Benda Kerja
 Mohammad Tauviqirrahman 47 - 54
7. Analisis Faktor Konsentrasi Tegangan pada Komposit Laminat Berlubang Yang Mendapat Beban Aksial Seragam
 Agus Triono 55 - 60
8. Pengaruh Pelumasan Terhadap Sifat Keausan *Ultra High Molekular Weight Polyethylene (UHMWPE) Die Drawn GUR 1120* Untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan
 Franciscus Xaverius Kristianta 61 - 70

Pengaruh Pelumasan Terhadap Sifat Keausan *Ultra High Molekular Weight Polyethylene (UHMWPE) Die Drawn GUR 1120* Untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan

Franciscus Xaverius Kristianta¹

ABSTRACT

The femoral and tibial on knee joint prostheses materials categorized as biomaterials. This materials must be have good wear resistance. The material usually made from titanium alloy, austenistic stainless steel and cobalt alloy, cobalt chrome alloy was categorized. The tibial bearing materials made from polymer material as ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). Wear behaviour of die drawn UHMWPE GUR 1120 decreased to 25% compared original UHMWPE when wear tested its by cobalt chrome alloy. This study desccribed of effect lubrication on wear behaviour of die drawn UHMWPE GUR 1120 and cobalt chrome alloy be implanted by Nitrogens Ion. The couple of die drawn UHMWPE GUR 1120 and cobalt chrome alloy wears tested with lubrication usage of bovine calf serum. It was conditioned of synovial fluids at a human knee joints. The Ion Implantation process of cobalt chrome alloy by irradiation dissociation energy of 100 keVs during 90 minutes and ion dossage of $1.86E17$ ion/cm². Usage some lubricant types, the bovine serum with various protein mass concentration. The wear tested by pin-on-plate unidirectional reciprocating movement. Payload is attached on 180 Newtons, speeds on 116.5 mm/s, stroke on 25 mm and sliding distance on 35 kilometres. The wear factor of die drawn UHMWPE GUR 1120 is; $5.12E-7$ mm³/Nm on 30 g/l protein mass concentration, $1.71E-7$ mm³/Nm on 19.3 g/l protein mass concentration (additive by sodium chloride on distilled water). The effect of lubrication on wear behaviour of die drawn UHMWPE GUR 1120 and CoCr alloy was implanted by Nitrogens ion indicated with increased protein mass concentration to be reduced the wear factors on range of 20 to 30 g/l protein mass concentration.

Keywords : die drawn UHMWPE, CoCr alloy, N₂ implanted ion, bovine serum.

Pendahuluan

Teknologi sendi lutut tiruan terdiri dari komponen *femoral*, *tibial* dan bantalan (*bearing*). Material *femoral* dan *tibial* yaitu *titanium alloy*, *austenistic stainless steel* dan *cobalt alloy* (Batista dkk, 2004), bantalan digunakan *UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)*. Pada aplikasinya pasangan kedua material komponen tersebut harus memiliki ketahanan gesek dan ketahanan aus yang baik. Sifat utama material persendian sebagai *biomaterial* adalah *wear resistance*, *corrosion resistance*, *bio-compatibility*, *bio-adhesion (bone ingrowths)*, *bio-functionality* (sifat mekanis material terutama *fatigue strength* dan *young's modulus* yang mendekati sifat tulang manusia), *process-ability* dan *availability* (De'Jesus dkk, 2004).

Hasil analisa kegagalan pada penggantian sendi lutut tiruan diantaranya disebabkan oleh : 1) Keausan dari *UHMWPE*, 2) Perpatahan pada komponen implant, 3) Ketidak

¹ Staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

sesuaian dalam pemasangan ,4) Infeksi pasca operasi, 5) *Osteolysis* yang disebabkan oleh partikel aus *UHMWPE* (Hsu-Wei Fang dkk, 2003. Sehingga pengendalian keausan pada *UHMWPE* sangat diperlukan dalam perancangan komponen sendi lutut tiruan.

Pada Pengujian keausan digunakan pelumasan dengan *bovine serum* yang dikondisikan sama dengan *Synovial Fluids* pada sendi lutut manusia (Wang, 1999). Penambahan material kimia lain seperti Albumin, dimaksudkan untuk memberikan lapisan pada permukaan kontak sendi, Sodium Chlorida, dimaksudkan untuk menurunkan konsentrasi protein dan Sodium Azide untuk anti bakteri dll.

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan beberapa jenis cairan sebagai material pelumasan yang bisa dipergunakan pada pengujian keausan material sendi lutut tiruan. Pengaruh konsentrasi protein pada pelumasan terhadap sifat keausan pasangan material sendi lutut tiruan .

Tinjauan Pustaka

UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*)

Polyethylene (PE) dikenal secara umum sebagai *polymer* yang merupakan senyawa organik yang terbentuk dari rantai panjang atas substansi tunggal yaitu molekul *ethylene* (C_2H_4). Sifat mekanis *polyethylene* meningkat dengan bertambahnya berat molekuler. Peningkatan tajam sifat mekanis terjadi jika berat molekul dari molekul *Polyethylene* melebihi satu juta dan mengandung lebih dari 200.000 kelompok *ethylene*. *UHMWPE* yang banyak digunakan pada komponen sendi tiruan mempunyai berat molekuler antara 3 hingga 6 juta g/mol (Batista dkk, 2004; De'Jesus dkk, 2004). *Polyethylene GUR 1120* mempunyai berat molekul rata-rata sampai dengan 4,4 juta g/mol

Die drawn UHMWPE GUR 1120 merupakan material *polymer* yang ditingkatkan kekuatan mekanisnya dan ketahanan-ausnya dengan cara *die drawing* sehingga menghasilkan perubahan orientasi molekul-molekul yang sesuai dengan arah tarikannya. *Die drawn UHMWPE* menghasilkan faktor keausan yang lebih rendah sekitar 25% , dibandingkan dengan material asli (Dharmastiti, 2001).

Keausan pada UHMWPE

Keausan adalah sebagai kehilangan substansi secara progresif dari permukaan benda akibat gerak relatif dari permukaan tersebut terhadap benda lain. Keausan pada *UHMWPE* dikategorikan: a)*Surface deformation*, b)*Pitting*, c)*Burnishing*, d)*Scratching*, e)*Abrasion* dan f) *Delamination* (Dharmastiti, 2001). Pada komponen logam, keausan dimungkinkan terjadi karena adanya komponen lain yang berfungsi sebagai material abrasif yang merusak permukaannya. Dengan munculnya material abrasif diantara komponen pasangan gesek, maka akan terbentuk *three-body abrasive wear* (Hutchings, 1995).

Uji keausan jenis *pin on plate* adalah salah satu jenis yang banyak digunakan karena meskipun jenis ini tidak dapat mewakili bentuk spesimen, gerakan dan mekanisme aus pada keadaan sebenarnya namun konfigurasinya yang sederhana menjadikannya alat yang efektif untuk pengujian secara terpisah pengaruh variasi berbagai variabel seperti kombinasi material, bentuk permukaan dan pola gerakan (Jones dkk, 1999)

$$\text{Berat keausan} = \text{Berat awal} - \text{Berat akhir} \quad (1)$$

$$\text{Volume keausan} = \frac{\text{Berat keausan (gram)}}{\text{Berat jenis (gram/mm}^3\text{)}} \quad (2)$$

$$\text{Faktor keausan} = \frac{\text{Volume keausan (mm}^3\text{)}}{\text{Beban (N) x jarak tempuh (m)}} \quad (3)$$

Implantasi Ion Nitrogen pada Cobalt Chrome

Perlakuan permukaan dengan implantasi ion adalah suatu proses penambahan unsur asing (dopan) kedalam permukaan material sasaran (substrat) dengan tujuan meningkatkan karakteristik atau sifat mekanik dari bahan tersebut. Melalui proses pengionan atom asing tersebut, pemercepatan dalam tabung akselerator oleh medan listrik, pemfokusan dalam medan elektromagnet kemudian menembakkannya ke permukaan material target (Sujitno, 2006). Komponen-komponen utama dari mesin implantor ion meliputi sumber ion, sumber daya listrik tegangan tinggi, sistem vakum, sistem pemisah berkas ion, tabung pemercepat, penyapu berkas dan tempat dudukan material target

Material Cobalt Chrome Alloy dilakukan perlakuan permukaan dengan cara implantasi ion Nitrogen (N₂) pada alat Implantor Ion dengan besar energi penyinaran 100 keV, lama penyinaran 90 menit dengan dosis ion sebesar 1.86E17 ion/cm². Kekerasan permukaan CoCr meningkat menjadi 551 VHN. Dengan membandingkan Implantasi ion N₂ pada *Stainless Steel* 316 L mempunyai ketahanan aus yang paling baik dibandingkan *sputtering TiN*, *plasma nitriding* dengan tanpa mengubah kekasaran permukaan (Widi Widayat, 2005). *Cobalt Chrome Alloy* dengan implantasi ion N₂ meningkatkan faktor keausannya sebesar 13% dibanding *CoCr* tanpa implantasi (Wahyudianto, 2006).

Kekerasan material

Kekerasan permukaan *cobalt chrome alloy* diuji dengan cara identasi mikro *Vickers* yang memiliki indentor berbentuk piramida intan dengan ukuran yang sangat kecil dan sudut permukaan 136⁰. Pengujian kekerasan berdasarkan standar ASTM E 92-82. Beban yang diberikan hanya dalam kisaran gram serta harga kekerasan diperoleh dengan mengukur diagonal bekas injakan, dinyatakan sebagai angka VHN (*Vickers Hardness Number*):

$$\text{VHN} = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (4)$$

dengan,

VHN = *Vickers Hardness Number* dalam kg/mm²

P = beban yang diberikan dalam kilogram

d = diagonal bekas injakan dalam milimeter

Pelumasan

Fungsi Pelumasan terutama untuk mempertahankan kondisi elemen-elemen yang menjadi bagian sistem tetap pada kondisi yang diharapkan, meliputi aspek fisik dan kinerjanya. Pelumasan pada persendian mempunyai fungsi untuk dapat mengurangi gesekan dan mereduksi keausan. Hal tersebut meliputi; 1)Mencegah penimbunan partikel di antara permukaan, 2)Membuang partikel yang ada pada interface, 3)Mencegah adhesi pada kedua permukaan, 4)Mereduksi panas yang muncul yang bisa berakibat deformasi plastis dan 5)Menciptakan gap di antara kedua permukaan untuk mencegah penggerusan dan deformasi plastis.

Pelumasan pada sendi lutut normal.

Pelumasan pada sendi lutut merupakan kombinasi fluid film lubrication dan boundary lubrication. Selama kondisi normal permukaan akan selalu terjamin terhadap adanya keausan ataupun kerusakan permukaan lainnya. Pergerakan persendian lutut juga dijamin dengan adanya pelumasan (*Synovial Fluids*). Normal *Synovial Fluid* terdiri dari 3 – 4 mg/ml *hyaluronan* (hyaluronic acid) suatu polymer dari *disaccharides* gabungan dari *D-glucuronic acid* dan *D-N-acetylglucosamine* bersambungan dengan *alternating beta-1,4* dan *beta-1,3 glycosidic bonds* (<http://en.wikipedia.org>). Hyaluronan disintesa oleh *Synovial* membran dan disekresi ke dalam rongga sendi untuk menambah sifat viskositas dan elastisitas dari articular cartilage dan melumasi diantara kedua permukaan yang bergesekan. *Synovial* fluid juga mengandung *lubricin* yang disekresi oleh *synovial cells*. Ini memberikan responsibilitas untuk membentuk *boundary-layer lubrication*, dimana akan terjadi reduksi gesekan diantara kedua permukaan cartilage.

Konsentrasi protein di dalam serum merupakan salah satu indikator persamaan fluida *Synovial* dengan fluida yang dapat dipergunakan sebagai pelumasan pada pengujian keausan. Dari beberapa jenis fluida pelumas antara lain diambil dari darah sapi, anak sapi, sapi jantan, babbon dan sebagainya.

Protein di dalam serum manusia terdiri 41% Albumin dan 59% Globulin (terdiri dari 13% Alpha-1,2 globulin, 12% Beta globulin dan 34% Gamma globulin), ratio Alb/Glo 0,7. Protein di dalam serum anak sapi (*CalF*) terdiri 43% Albumin dan 57% Globulin (terdiri dari 15% Alpha-1,2 globulin, 15% Beta globulin dan 26% Gamma globulin), ratio Alb/Glo 0,8. Protein di dalam serum sapi jantan (*Bull*) terdiri 46% Albumin dan 54% Globulin (terdiri dari 18% Alpha-1,2 globulin, 25% Beta globulin dan 34% Gamma globulin), ratio Alb/Glo 0,9. Protein di dalam serum sapi (*Cow*) terdiri 41% Albumin dan 59% Globulin (terdiri dari 13% Alpha-1,2 globulin, 12% Beta globulin dan 34% Gamma globulin), ratio Alb/Glo 0,7. (Ian C Clarke, 2001)

Pelumasan pada Uji keausan .

Jenis Pelumasan yang dipergunakan pada pengujian keausan antara *CoCr Alloy* dan *UHMWPE* pada Alat Uji Keausan type Pin on Plate ini adalah pencampuran cairan Bovine Serum. Hal ini dengan mempertimbangkan faktor kedekatan kondisi yang sebenarnya ketika sendi lutut tiruan ditanam-pasangkan pada lutut kaki manusia, dengan lain kata Bovine Serum sangat dekat sekali dengan fluida yang terdapat pada *Synovial Joint* atau disebut sebagai *Synovial fluids*. Serum ini diambil dari darah binatang (*bovine*), diantaranya ; sapi, babbon, babi, ayam dsb.

Pelumasan dengan menggunakan serum divariasasi dengan cara mengubah konsentrasi protein yang diperoleh dengan cara mengubah komposisi material campuran serum tersebut dengan 75% air destilasi (disebut sebagai Pelumas A). Pelumas B adalah pelumas dengan konsentrasi protein 30 g/l dengan mengubah prosen volume dari air destilasi dan serum. Pelumas C adalah pelumas dengan konsentrasi protein 19,3 g/l dengan mencampurkan serum dan larutan NaCl (Sodium klorida) dalam air destilasi sampai dengan kondisi jenuh (Jones dkk, 1999; Mars dkk, 1999).

ion dan
erhadap
tut juga
ri dari 3
gan dari
beta-1,4
sa oleh
kosittas
n yang
ells. Ini
na akan

samaan
ngujian
rak sapi

(terdiri
, ratio
n dan
Gamma
iri 46%
lin dan
iri 41%
lin dan

lloy dan
Bovine
enarnya
in kata
int atau
bovine),

ngubah
mpuran
adalah
dari air
19,3 g/l
destilasi

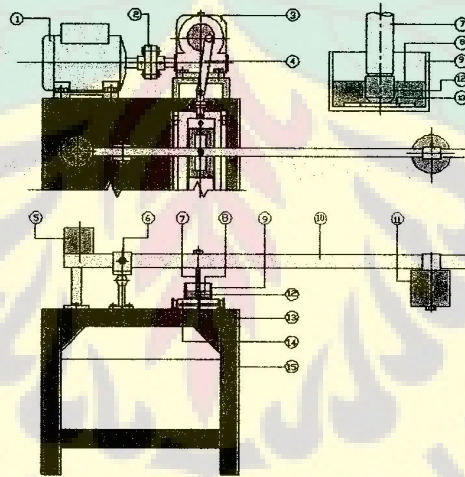
Metodologi Penelitian

Material Uji dan Alat Uji

Bagian *femur* berbentuk seperti mangkukan dari *Cobalt Chrome Alloy*, sebagai spesimen uji aus dibentuk plat dengan ukuran (55 x 13) mm dengan ketebalan 2.0 mm. Pemotongan dengan menggunakan *CNC Wire Cutting Machine* karena material CoCr mempunyai nilai kekerasan yang tinggi .

Sebagai bantalan (*bearing*) di antara pasangan komponen *femur* dan komponen *tibial* yang berbentuk lembaran flat dengan material dari *die drawn Ultra High Molecular Weight Polyethylene(UHMWPE) GUR 1120*. *Polyethylene* orisinil diproses *drawing dengan drawing ratio 2 (20:10)*, dengan kecepatan penarikan 40 mm/dt pada temperatur 110⁰C Bagian ini merupakan bantalan (*bearing*) dimana terjadi persendian antar kedua permukaan kontak . Sebagai spesimen uji *UHMWPE* ini dibentuk menjadi pin dengan diameter kepala pin 10 mm panjang kepala 10 mm dengan panjang total 28 mm.

Pengujian keausan dengan menggunakan *Pin on Plate Unidirectional Reciprocating Movement Wear Test* dengan 6 stasiun seperti pada gambar 2.1. Gerak bolak-balik batang lengan dengan jangkauan / panjang langkah 25 mm berdasarkan jarak pergerakan persendian lutut.



Gambar 1. Pin on plate wear test

Prosedur Pengujian

Pin *UHMWPE* sebelum diuji direndam dahulu dalam air destilasi selama 3 hari ,pencucian dilakukan dengan air sabun dan dibersihkan dengan alkohol. Setelah dibersihkan dalam *ultrasonic cleaner* selama 30 menit pin ditimbang dengan *electronic balance* .Kemudian pin dipasang pada batang pemegang dengan penampang gesek pengujian disesuaikan dengan arah penarikan pada proses *die drawing*. Plat CoCr diletakkan dalam wadah dengan posisi yang mantap kemudian dimasukkan pelumas sebanyak 20 ml. Pin kontrol diletakkan dalam botol yang juga berisi pelumas yang sama.

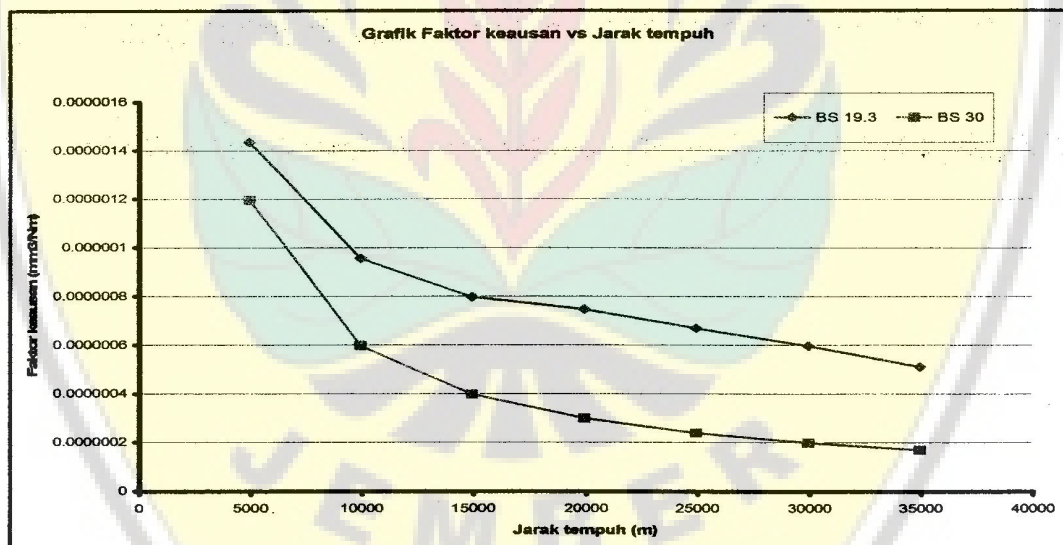
Pasang seluruh komponen alat uji dan peralatan ukur yang akan dipergunakan selama pengujian. Beban utama diatur sedemikian sehingga terjadi pembebanan pada plat oleh pin

sebesar 180 N. Kecepatan langkah diatur 116,5 mm/det dengan mengatur kecepatan putaran poros motor listrik.

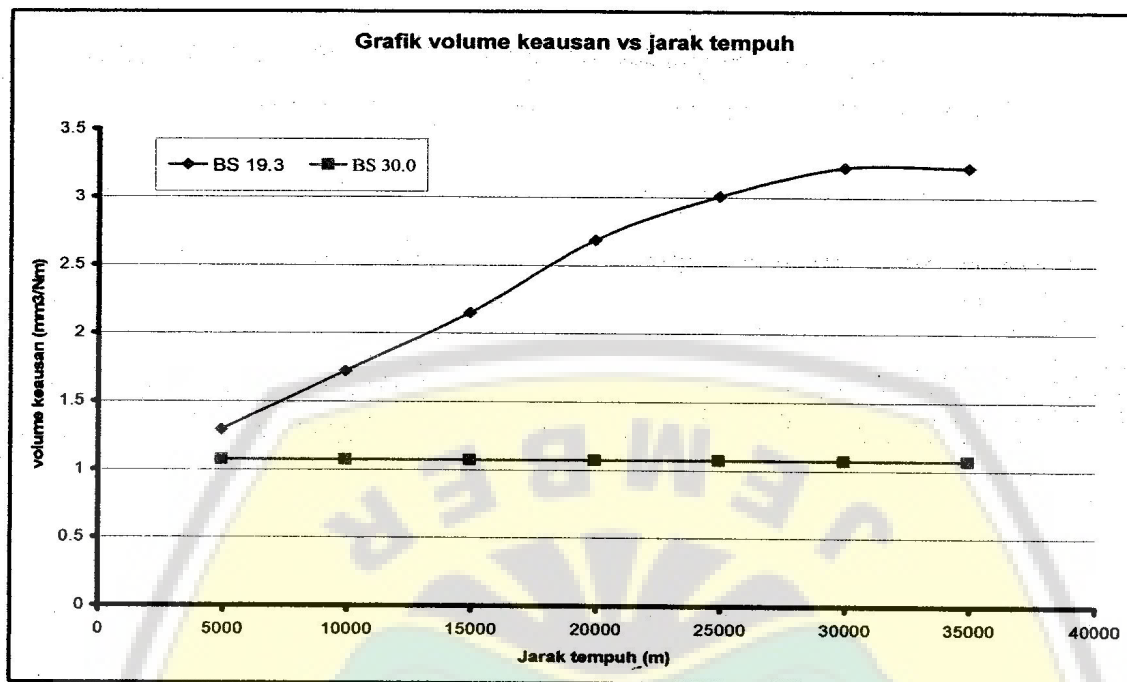
Pengujian keausan dilakukan dalam satu siklus sampai dengan 200.000 langkah. Setiap selesai siklus pengujian pin *UHMWPE* dicuci dengan air sabun, dibersihkan dengan alkohol kemudian dibersihkan dalam *ultrasonic cleaner*. Sedangkan plat *CoCr* juga dicuci dengan air sabun dan dibersihkan dengan alkohol. Pin ditimbang kembali untuk diperoleh berat akhir pengujian persiklus. Pengujian dilanjutkan sampai dengan jumlah langkah mencapai 1.400.000 langkah (setara dengan 35.000 m).

Pengujian keausan dengan menggunakan pelumasan *bovine serum*, dengan 3 variasi pelumasan yaitu 25% *bovine serum* dan 75% air destilasi, pelumasan dengan konsentrasi protein 30 g/l, dan pelumasan dengan konsentrasi protein 19.3 g/l dengan mencampurkan serum dan larutan NaCl (Sodium klorida). Volume pelumas yang dipergunakan dalam pengujian harus selalu dijaga tetap sebanyak 20 ml, jika terjadi kekurangan (penguapan) selama pengujian perlu ditambahkan.

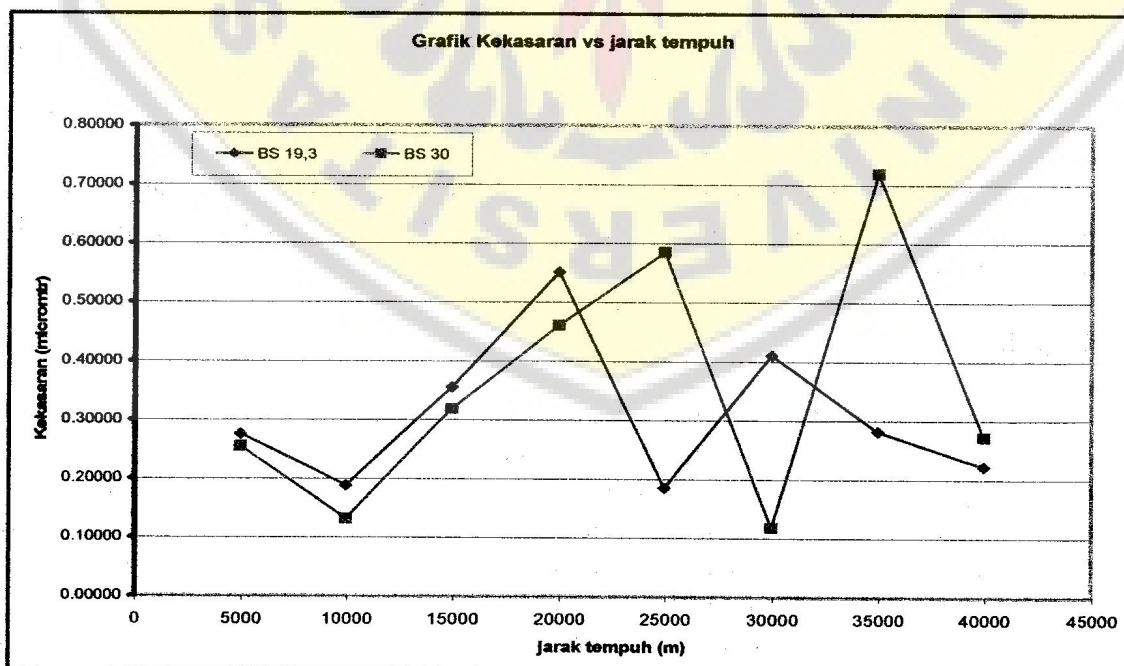
Hasil dan Pembahasan



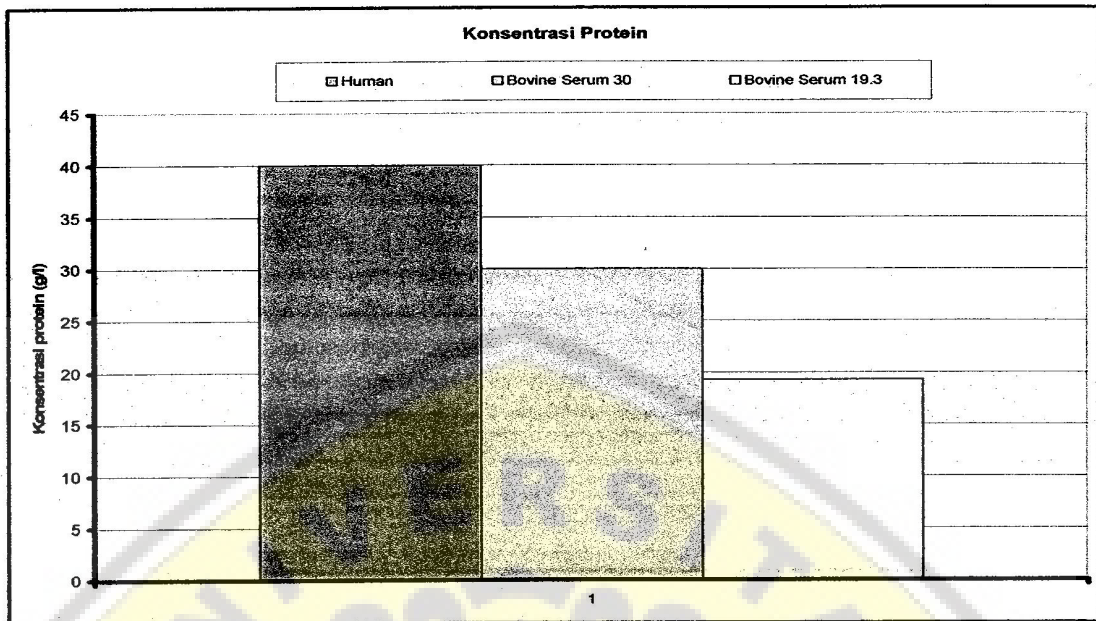
Gambar 2. Grafik faktor keausan terhadap jarak tempuh



Gambar 3. Grafik volume keausan terhadap jarak tempuh



Gambar 4. Grafik kekasaran terhadap jarak tempuh



Gambar 5. Grafik Konsentrasi protein

Dari grafik hasil pengujian terlihat bahwa volume keausan pada penggunaan pelumasan *bovine serum* konsentrasi protein rendah (19,3 g/l) menunjukkan peningkatan linier dari awal sampai jumlah langkah ke 30.000 m kemudian terjadi kondisi stabil dimana volume keausannya tetap. Kemungkinan setelah 30.000 m tidak terjadi keausan abrasif tetapi terjadi *permanent surface deformation*, hal ini tampak secara visual permukaan UHMWPE halus dan mengkilap. Demikian juga faktor keausan yang terjadi menunjukkan penurunan linier setelah jumlah langkah 20.000 m. Hal yang berbeda terjadi pada pengujian dengan pelumasan *bovine serum* konsentrasi protein 30 g/l menunjukkan tidak terjadinya keausan abrasif sejak awal sampai jumlah langkah 35.000 m kemungkinan terjadi *permanent surface deformation*.

Kekasaran permukaan dalam setiap siklus mengalami perubahan yang acak, terjadi peningkatan kekasaran yang cukup besar pada pengujian dengan pelumas 30 g/l konsentrasi protein.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa faktor keausan UHMWPE menurun dengan bertambahnya jarak tempuh, untuk pengujian dengan pelumas *bovine serum* dengan konsentrasi protein 19,3 g/l diperoleh harga faktor keausan $5,12033 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$, sedangkan pada pengujian dengan pelumas *bovine serum* 30 g/l konsentrasi protein diperoleh harga faktor keausan $1,70678 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Sehingga dalam aplikasi penggantian sendi lutut tiruan perlu penyesuaian konsentrasi protein yang terkandung pada *Synovial fluid*. Dari pengamatan kekasaran permukaan *Cobalt Chrome* sampai jumlah langkah 35.000 meter menunjukkan kecenderungan kembali kekasaran awal.

Daftar Pustaka

- A. Wang, A. Essner, V.K. Polineni, C. Stark, J.H. Dumbleton, 1998, *Lubrication and Wear of Ultra High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement*, Tribology International Vol. 31, Great Britain
- Batista, G., Ibarra, M., Ortiz, J., dan Villegas., M., 2004, *Engineering biomechanics of knee replacement*, Application of Engineering Mechanics in Medicine, GED, University of Puerto Rico.
- Cornwall, G. B., Bryant, J.T., dan Hansson, C.M., 2001, *The effect of Kinematic Condition on The Wear of Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) in Orthopaedic Bearing Applications*, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol 215
- De'Jesus, W., Echevarria, L., Rodriguez, J., dan Vargas, A., 2004, *Biomechanics of Elbow Prostheses*, Applications of Engineering Mechanics in Medicine, GED, University of Puerto Rico.
- Dearnley, P. A., 1999, *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.
- Dharmastiti Rini, Barton, D.C., Fisher, J., Eddin, A., dan Kurtz, S., 2001, *The wear of oriented UHMWPE Under Isotropically rough and scratched counterface test conditions*, Bio-Medical Materials and Engineering 11, hal. 241-256.
- Dong, H., Shi, W., and Bell, T., 1999, *Potential of improving Tribological Performance of UHMWPE by Engineering The Ti6Al4V Counterface*, Wear 225-229, hal 146-153
- Dumbleton, J.H, 1991, *Wear and Prosthetic Joint*, Joint Replacement Arthroplasty, Churchill Livingstone, New York, hal. 47-57
- Granata, R. D. and Moore, P. G., 1986, *Surface Modification in Metal Hand Book 9th Edition*, Vol 6, American Society for Metal, Park Ohio.
- Hsu-Wei Fang, Stephen M. Hsu, Jan V. Sengers, 2003, *Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Wear Particles Effects on Bioactivity*, NIST Special Publication 1002
- Ian C Clarke, 2001, *Multi laboratory simulator studies on effect of serum protein on PTFE cup wear*, Wear vol.250 (2001) 188-198
<http://en.wikipedia.org/wiki>, (28 November 2007)
- Hutchings, I., M., 1995, *Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials*, Arnold, London
- J.Q. Yao, M.P. Laurent, T.S. Johnson, C.R. Blanchard, R.D. Crowninshield, 2003, *The influences of lubricant and material on polymer/CoCr sliding friction*, Wear 255 (2003) 780-784
- Joseph D. Bronzino, Michael J. Furey, 1995, *The Biomedical Engineering Handbook – Section III.23 Joint Lubrication*, A CRC Handbook Published in Cooperation with IEE Press
- Tjipto Sujitno, 2006, *Aplikasi Akselerator Ion*, BATAN, Yogyakarta, Indonesia.
- Schwenke, T., Kaddick, C., Schneider, E. and Wimmer, MA., 2005, *Fluid composition impacts standardized testing protocols in ultrahigh molecular weight polyethylene knee wear testing*, Proc. IMechE Vol. 219 Part H: J. Engineering in Medicine
- Timothy C Chang, 2005, *Effect of Select Fluids on Frictional of Metal on Polyethylene Joint Replacement Surfaces*, Massachusetts Institute of Technology
- Wahyudianto, A.FX., 2006, *Pengaruh Implantasi Ion Berbasis Nitrogen Pada Cobalt Chrome Alloy Terhadap Sifat Keausan Die Drawn GUR 1120 UHMWPE*, Thesis, UGM, Yogyakarta