

**PENGARUH PROSES DIE DRAWING TERHADAP KEAUSAN
MATERIAL ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT
POLYETHYLENE PADA UJI KEAUSAN PIN-ON-PLATE
DENGAN MATERIAL STAINLESS STEEL SUS-316L**

**THE EFFECT OF DIE DRAWING PROCESS ON THE WEAR
OF ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE
(UHMWPE) MATERIAL TROUGH PIN-ON-PLATE WEAR TEST
PAIRED WITH STAINLESS STEEL SUS-316L**

Achmad Hata

(Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung)

ABSTRAK

Total knee joint prosthesis adalah penggantian sendi lutut secara menyeluruh dengan sendi lutut tiruan yang menggunakan biomaterial. *Biomaterial* yang digunakan harus mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan sel tubuh manusia tanpa menimbulkan efek samping yang membahayakan tubuh manusia. Bagian ujung *femoral* dan *tibia* dibuang lalu diganti dengan material *stainless steel* SUS-316L dan *Ultra High Molecular Weight Poly-Ethylene* (UHMWPE). Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh proses *die drawing* pada material UHMWPE terhadap keausan. Material yang digunakan adalah *stainless steel* SUS-316L berupa pelat berukuran 50x15x3mm dan pin UHMWPE berdiameter 8 mm. Pada beberapa benda uji, SUS-316L diberi perlakuan implantasi ion berbasis nitrogen dan proses *draw drawing* pada UHMWPE. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin uji keausan *unidirectional reciprocating pin on plate*. Uji keausan dilakukan dalam beberapa periode waktu dan parameter yang berbeda-beda, yaitu: beberapa variasi pasangan SUS-316L dengan dan tanpa perlakuan *ion implantation* serta UHMWPE dengan dan tanpa perlakuan *die drawing*. Uji keausan dilakukan menggunakan pelumas PBS, dengan jarak lintasan 15 km, 30 km, dan 35 km. Gaya penekanan digunakan pada pin 180 N. Faktor keausan tertinggi yang dihasilkan adalah $5,57 \times 10^{-5}$, $1,43 \times 10^{-5}$, dan $1,36 \times 10^{-5}$ mm³/N berturut-turut untuk pasangan material SUS-316L *ion implantation* - UHMWPE *die drawn*, SUS-316L *virgin* - UHMWPE *die drawn* serta SUS-316L *ion implantation* - UHMWPE *virgin*. Untuk dua pasangan material pertama yaitu UHMWPE dengan proses *die drawing* mempunyai faktor keausan yang jauh lebih kecil. Dapat disimpulkan bahwa proses *die drawing* pada material UHMWPE dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan pada penggantian sendi lutut tiruan dengan menggunakan material tersebut.

Kata kunci: UHMWPE, PBS, *die drawing*.

ABSTRACT

Total knee joint prosthesis is a damage knee joint replacement system using artificial materials called bio-materials. A bio-material must be able to interact within human body cell without any negative effects for human body. Each end

part of femoral and tibia are removed, then replaced using stainless steel SUS-316L and Ultra High Molecular Weight Poly-Ethylene (UHMWPE). The aim of this research was to observe the effects of die drawing process on UHMWPE subjected to unidirectional reciprocating pin-on-plate wear test. The materials which were used in this research was 8 mm diameter UHMWPE pin with and without die drawing process, and polished 50x15x4mm stainless steel SUS-316L plates with and without ion implantation process. A unidirectional reciprocating pin-on-plate wear testing machine was used to test some pairs of UHMWPE pin and SUS-316L plate for some periodic time. The wear test was using Phosphate Buffered Saline (PBS) as lubricant and some variation parameters such travel distance, speed and force during the test. The travel distance variations were 15km, 30km and 35km, while the force was 180N. The wear factors for this research are $5,57 \times 10^{-5}$, $1,43 \times 10^{-5}$ and $1,36 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{N}$ respectively for UHMWPE virgin SUS-316L ion implantation, SUS-316L ion implantation - UHMWPE die drawn, and SUS-316L virgin - UHMWPE die drawn. The die drawn UHMWPE gives much lower wear factor than virgin UHMWPE, which is almost 1/3 times of virgin UHMWPE, therefore it can be considered as an artificial material process for knee joint prosthesis replacement.

Keywords: UHMWPE, PBS, die drawing.

PENDAHULUAN

Penggantian sendi lutut secara menyeluruh telah banyak diterima sebagai perlakuan penyembuhan pada sendi lutut yang telah mengalami kerusakan yang fatal seperti terlihat pada Gambar 1. Penyembuhan tersebut dilakukan dengan cara mengganti bagian masing-masing ujung dari *femoral* dan *tibia* pada sendi lutut dengan logam *stainless steel* SUS-316L. Di antara keduanya dibatasi dengan material Ultra High Molecular Weight Poly-Ethylene (UHMWPE) (Agrawal, dkk, 1995). UHMWPE berfungsi sebagai bantalan untuk mengurangi gesekan yang dapat menyebabkan keausan. Untuk mencapai kesuksesan pada aplikasinya, kedua

material tersebut harus mempunyai beberapa persyaratan, antara lain *bio-compatibility*, kekerasan dan kehalusan yang cukup sehingga menghasilkan ketahanan aus yang baik, dan sifat *manufacturability* yang baik (Long and Rack, 1997). Untuk memenuhi persyaratan tersebut, pengujian keausan menggunakan metode *unidirectional reciprocating pin on plate* yang dilakukan dengan menggunakan pelumasan, yaitu larutan *phosphate buffer saline* (PBS)/ NaN_2 (Rao, dkk., 1999). Jenis pelumas ini digunakan karena mempunyai beberapa kesamaan dengan *synovial fluid* yang terdapat pada sendi manusia.

Untuk memperbaiki karakteristiknya, terhadap beberapa material dilakukan

perlakuan, di antaranya implantasi ion berbasis nitrogen pada material SS-316L dan proses *die drawing* pada material UHMWPE.



Gambar 1. Penggantian Sendi Lutut yang Mengalami Kerusakan (kiri) dan setelah Mengalami Penggantian dengan Sendi Tiruan (kanan)

Proses *die drawing* pada UHMWPE dimaksudkan untuk memperbaiki karakteristiknya, yaitu ketahanan terhadap gesekan dan keausan. Setelah diuji gesek *unidirectional*, UHMWPE *virgin* menunjukkan retak-retak mikro pada permukaan geseknya sementara pada UHMWPE *die drawn* tidak terjadi retak (Dharmastiti, 2001).

UHMWPE ialah *polyethylene* dengan berat molekul yang jauh lebih tinggi dibanding dengan *polyethylene* lainnya (Thompson, 2001). UHMWPE juga merupakan *biomaterial* yang paling umum digunakan untuk sendi tiruan dan berpasangan dengan *metal bio-material* atau *bio-ceramics*.

Tujuan penelitian ini ialah mengetahui bagaimana pengaruh proses *die drawing*

pada material UHMWPE melalui uji keausan *unidirectional reciprocating pin on plate* yang berpasangan dengan material *stainless steel* SUS-316L. Pelumas yang digunakan dalam pengujian ini ialah PBS.

METODOLOGI PENELITIAN

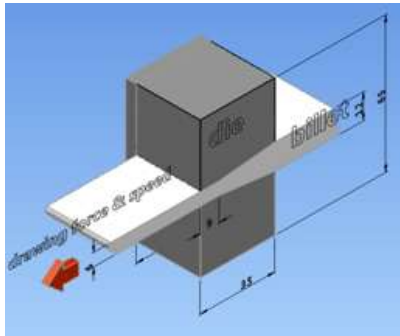
Material yang digunakan adalah pin UHMWPE berdiameter 8 mm dengan dan tanpa proses *die drawing* serta pasangannya yaitu material pelat *stainless steel* SUS-316L berukuran 50x15x3mm yang sebelumnya telah dipoles dengan nilai Ra antara 0.06 – 1.2 μm seperti terlihat pada Gambar 2. Pelumas yang digunakan untuk merendam selama proses gesekan antara pin UHMWPE dan pelat SS-316L adalah larutan PBS (Rao, dkk.,1999).



Gambar 2. Material Uji Keausan *Pin-On-Plate*.

Die drawing adalah penarikan material UHMWPE berbentuk billet dengan luas penampang tertentu melalui suatu cetakan (*die*) dengan ukuran mengecil ke arah penarikan. Pada ujung keluaran cetakan material, ukuran luas penampangnya menjadi lebih kecil. Perbandingan ukuran luas penampang

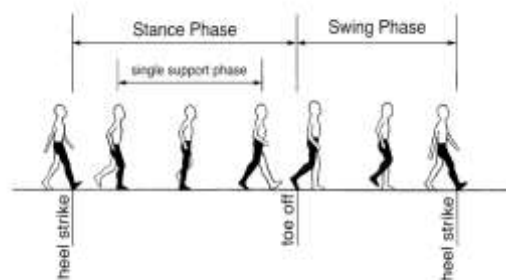
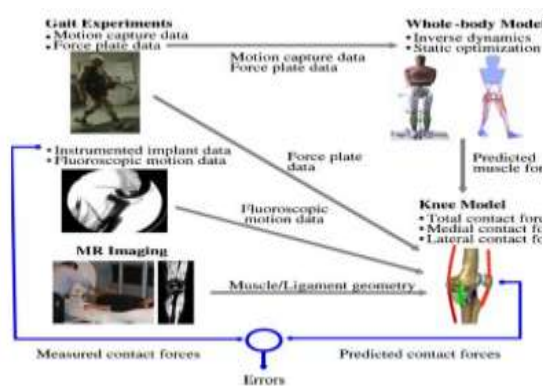
lubang masuk dan keluar mempunyai angka tertentu yang disebut *drawing ratio* seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Proses Die Drawing dengan Drawing Ratio Tertentu

Uji keausan dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter secara rata-rata yang mendekati kegiatan manusia sehari-hari, di antaranya; jalan kaki, lari, berjalan menanjak dan menurun, serta mengambil berat badan rata-rata manusia Indonesia.

Parameter-parameter tersebut diambil dari data hasil percobaan yang disebut *human gait cycle*. *Gait* ialah suatu pola gerakan dari sistem kaki manusia maupun binatang pada saat berjalan di suatu permukaan padat. Pada manusia, umumnya dikenal *gait* berjalan dan berlari, baik pada permukaan yang rata maupun permukaan yang berkontur. Kegiatan ini memerlukan energi maupun gaya yang berbeda-beda pada setiap jenis *gait*. Gambar 4 adalah contoh *gait cycle* pada saat manusia sedang berjalan di permukaan padat yang datar. Dilakukan percobaan untuk mendapatkan variasi gaya yang terjadi pada sendi lutut manusia. Alat ukur dan visual digunakan untuk membuat pemodelan sehingga gaya pada sendi lutut, reaksi permukaan, maupun gaya pada otot dapat diketahui (Kim dkk, 2009).



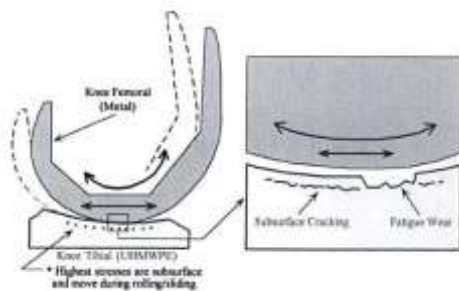
Gambar 4. Beberapa Langkah dalam Gerakan-gerakan (*Gait*) Kaki Manusia pada saat Kegiatan Berjalan Normal (Kim dkk, 2009).

Pada tabel 1, tertulis metode siklus uji keausan dengan pelumas PBS. Alat yang digunakan adalah mesin uji keausan *unidirectional reciprocating pin on plate* yang sering dan umum digunakan untuk menguji kemampuan faktor tribologi dari *biomaterial* yang akan diamati. Kontainer terpasang di meja geser, pelat SUS-316L, yang terpasang di dalam kontainer akan ditekan oleh pin UHMWPE dengan beban 180 N (Kim, dkk, 2009).

Jarak lintasan adalah total lintasan gesekan pada gerakan bolak-balik saat uji keausan yang diidentikan dengan gerakan gesekan yang terjadi pada saat sendi lutut manusia melakukan gerakan seperti berjalan kaki maupun berlari. Pada gambar 5 ditunjukkan gambaran simulasi gerakan sendi lutut manusia pada saat melakukan aktivitas seperti berjalan atau berlari.

Tabel 1. Parameter Kondisi Uji Keausan

Metoda/Pelumas	Gaya	Material	Lintasan gesekan
PBS	180 N	SUS-316L + die drawn UHMWPE	15, 30 km
		SUS-316L ion implantasi + <i>die drawn</i> UHMWPEU= UHMWPE	15, 30 km
		SUS-316L ion implantasi + virgin UHMWPE	15, 30 km



Gambar 5. Simulasi Gerakan Bolak-balik Sendi Lutut Manusia pada saat melakukan Gerakan.

Masing-masing pasangan pin UHMWPE dan pelat SUS-316L dipersiapkan dan dipasang di mesin uji keausan seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Sebelum pengujian dan setiap kali selesai siklus pengujian, pin UHMWPE ditimbang untuk mengetahui berat awal dan berat setelah pengujian dengan terlebih dahulu dibersihkan dengan alkohol dan *ultrasonic cleaner* untuk memastikan kebersihannya. Faktor keausan dihitung dengan menggunakan persamaan (1)

$$\text{faktor keausan (mm}^3/\text{N.m)} =$$

$$\frac{v}{F \times L} = \frac{m/\rho}{F \times L} = \frac{m}{\rho \times L \times F}$$

(1)

dengan v = volume keausan (*wear*) (mm^3); m = berat keausan (gram);
 ρ = berat jenis; F = gaya penekanan pin;
 L = panjang lintasan gesekan (m)

Panjang lintasan yang digunakan dalam pengujian adalah dalam satuan km. Setelah dikonversikan terhadap waktu, didapat harga-harga seperti yang tertulis pada tabel 2.

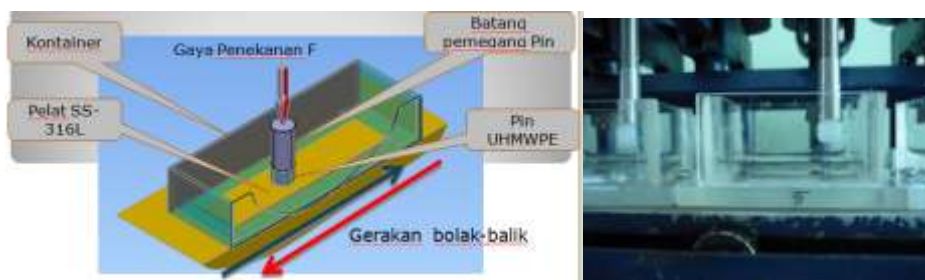
Faktor keausan adalah faktor yang menentukan ketahanan suatu material yang mengalami gesekan, makin besar nilai faktor keausan semakin banyak material tersebut mengalami keausan.

Tabel 2. Lama Waktu Pengujian dengan Panjang Lintasannya.

No	Panjang Lintasan	Waktu (menit)	Waktu (jam)
1	5 km	836,44	13,77
2	10 km	1653	27,55
3	15 km	2479,3	41,32
4	30 km	4958,68	82,64



Gambar 6. Mesin Uji Keausan *Unidirectional Reciprocating Pin on Plate*



Gambar 7. Skema Uji Keausan *Pin on Plate*

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

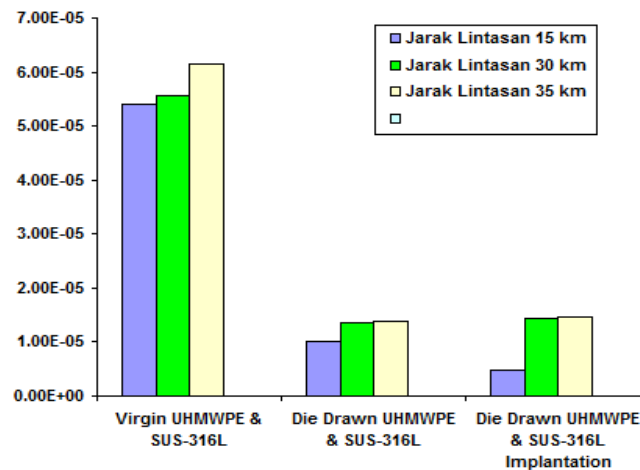
Hasil pengujian berupa kehilangan berat pin UHMWPE yang dihasilkan akibat

keausan uji keausan seperti ditunjukkan pada tabel 3. Faktor keausan dari berbagai pasangan dapat dilihat pada gambar 8. *Die drawn* UHMWPE menunjukkan faktor keausan yang lebih

kecil dibanding dengan UHMWPE yang merupakan gambaran faktor tanpa perlakuan *die drawing*. Hal ini keausan yang ada pada tabel 3. ditunjukkan dengan jelas pada gambar 8

Tabel 3. Hasil Pengujian Keausan yang Menghasilkan Faktor Keausan untuk Masing-masing Pasangan Material

	<u>Description</u>		AISI 316L virgin		AISI 316L Ion Implantation		AISI 316L Ion Implantation	
			UHMWPE die drawn		UHMWPE virgin		UHMWPE die drawn	
	Station		1	2	3	4	5	6
	Density (kg/m ³)	935						
1	Pin weight (grams)	initial	0,958	0,96	0,941	0,947	0,942	0,969
		After wear test	0,9236	0,909	0,805	0,6659	0,9302	0,897
2	Wear debris (grams)		0,0344	0,051	0,136	0,2811	0,0118	0,072
3	Hardness Vickers (VHN)	Initial	315	290	430	427	398	400
		After wear test	315	292	427	427	398	400
4	Roughness Ra (um)	Initial	0,087	0,087	0,087	0,09	0,047	0,06
		After wear test	0,11	0,12	0,15	0,165	0,06	0,072
5	Wear test travel distance (m)		15000	30000	15000	30000	15000	30000
6	Wear volume (mm ³)		3,68E+01	5,45E+01	1,45E+02	3,01E+02	1,26E+01	7,70E+01
7	Wear factor (mm ³ /N.m)		1,01E-05	1,36E-05	5,39E-05	5,57E-05	4,67E-06	1,43E-05
Average wear volume			4,57E+01		2,23E+02		4,48E+01	
Average wear factor			1,19E-05		5,48E-05		9,47E-06	
Total average wear factor							2,54E-05	

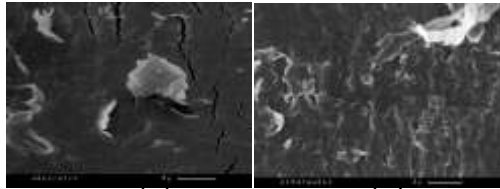


Gambar 8. Faktor Keausan Material *Virgin* UHMWPE dan *Die Drawn* UHMWPE

Proses *die drawing* pada material UHMWPE memperbaiki salah satu karakteristiknya yaitu ketahanan terhadap keausan menjadi tiga kali lipat.

Hal ini juga menguatkan percobaan sebelumnya, yaitu pengamatan mikro terhadap pin UHMWPE setelah proses uji keausan dengan menggunakan

Scanning Electron Microscope (SEM) seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 (a) Foto SEM Permukaan Pin UHMWPE, dan (b) *Die Drawn* UHMWPE Setelah Uji Keausan *Pin-on-Plate*

Gambar 9 (a) adalah foto permukaan pin UHMWPE tanpa proses *die drawing* setelah uji keausan yang menunjukkan retak-retak mikro. Sementara, gambar 9 (b) adalah permukaan pin UHMWPE dengan proses *die drawing* dan tidak menunjukkan adanya retak-retak mikro.

SIMPULAN

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses *die drawing* dapat dipertimbangkan untuk digunakan pada material UHMWPE sebelum dibentuk untuk digunakan pada sendi lutut tiruan.

DAFTARPUSTAKA

- Agrawal, C. M., MiCallef, D. M., and Mabrey, J. 1995. *The Wear of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*, San Antonio: University of Texas Health Science Center.
- DeAngelis. 2007. PBS, K. M. PBS, Diunduh Juli 2010.
- Dharmastiti. R. 2010. *Chapter III, Small Scale Die Drawing Experimental Result*, Jogjakarta FT UGM.
- Kim, H. J., Fernandez, J. W., Akbarshashi, M., Walter, J. P., Fregly, B. J., Pandey, M. G. 2009 *Evaluation of Predicted Knee-Joint Muscle Forces during Gait Using an Instrumented Knee Implant*. Wiley InterScience.
- Long, M., Rack, H. J. 1998. *Titanium alloys in total joint replacement a materials science perspective*, *Biomaterials*, 19 (1998) 1621 - 1639.
- Rao, S, Shirata, K, Furukawa, K.S., Ushida, T., Tateishi, T., Kanazawa, M., Katsube, S and Janna, S. 1999. *Evaluation of cytotoxicity of UHMWPE wear debris*, *Bio-Medical Materials and Engineering*, 9 209–217. IOS Press.
- Thompson, S. M. 2001. *Design of Novel Hip Resurfacing Prosthesis*, Unit for Joint Reconstruction Institute Of Orthopaedics, Oswestry.