

PENGARUH PLASMA NITRIDING PADA SUBSTRAT SS 316 L TERHADAP KEAUSAN *DIE DRAWN UHMWPE*

Widi Widayat

Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang

B.A. Tjipto Sujitno

P3TM-BATAN Yogyakarta

Rini Dharmastiti

Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK

Austenitic stainless steel dan UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) merupakan salah satu pasangan material yang banyak digunakan pada komponen sendi lutut buatan. Keausan menjadi perhatian utama dalam berbagai penelitian karena partikel keausan yang ditimbulkan dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan pemakainya. Partikel keausan terbukti dapat memicu reaksi di dalam lingkungan biologis tubuh. Die drawn UHMWPE merupakan modifikasi UHMWPE yang telah terbukti dapat menurunkan laju keausannya. Pendekatan lain adalah dengan lapisan keras tipis yang dapat meningkatkan ketahanan aus permukaan substrat SS dan menurunkan keausan pasangan komponen logam-polimer tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lapisan tipis menggunakan plasma nitriding pada substrat stainless steel 316 L (SS) terhadap faktor keausan die drawn UHMWPE. Spesimen SS tanpa lapisan (R_a awal $0,019\mu\text{m}$) dan yang dilapisi diuji keausan menggunakan alat uji gesek jenis unidirectional pin on plate dengan pelumas air destilasi. Pengujian microhardness menunjukkan peningkatan kekerasan permukaan SS sebesar 47% (254 HV) untuk plasma nitriding. Pengujian terhadap pasangan gesek UHMWPE dengan SS menghasilkan faktor keausan yang lebih besar pada pasangan UHMWPE-plasma nitrided SS ($7,93 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) bila dibandingkan dengan SS tanpa lapisan ($4,74 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$).

Kata kunci: UHMWPE, Austenitic Stainless steel, plasma nitriding, faktor keausan

ABSTRACT

Austenitic stainless steel and UHMWPE is one of most commonly used metal-plastic combination materials for knee replacement. As a tribo component, both of them are subjected to friction and wear. Wear is a major factor since its debris potential to stimulate reaction with the tissue. Attempts are conducted to reduce friction and wear such as die drawn UHMWPE that successfully reduces its wear rate. As applied in many components subjected to friction, thin hard layer is another consideration to reduce the wear rate of the implanted components. The aim of this research is to study the effect of the thin hard layer by plasma nitriding on the 316 L stainless steel substrate (SS) to the wear factor of the die drawn UHMWPE. The specimens are tested in a unidirectional pin on plate and using distilled water as lubricant. Microhardness test shows that the layer increases the SS surface hardness: 47% (254 HV). The test shows that the wear factor of surface engineered SS is higher than the origin one. The wear factor for UHMWPE in contact with origin SS and plasma nitrided SS are $4,74 \cdot 10^{-8}$ and $7,93 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ respectively.

PENDAHULUAN

Pada penggantian sendi lutut atau *total knee replacement*, digunakan pasangan material dimana satu material digunakan untuk mengganti komponen *femoral* dan material lain untuk komponen *acetabular*. Berbagai bahan telah diuji coba sebagai bahan pengganti sendi manusia.

Ada tiga bahan paduan yang telah banyak diterapkan sebagai komponen femoral yaitu paduan titanium, austenitic *stainless steel* dan paduan cobalt^[1]. Ketiganya bersama dengan UHMWPE yang banyak diterapkan pada komponen tibial, membentuk kombinasi pasangan polymer-logam.

Seperti halnya komponen tribologi lain, sendi buatan ini juga akan mengalami gesekan dan keausan. Keausan bisa mengurangi kinerja komponen tersebut dan menghasilkan partikel keausan. Kedua hal tersebut dapat mengganggu kesehatan pemakainya, namun munculnya partikel keausan menjadi sangat penting untuk diperhatikan karena dapat memicu reaksi dengan lingkungan biologis tubuh.

Peningkatan ketahanan aus atau penurunan laju keausan UHMWPE merupakan masalah yang terus diteliti. *Die drawn UHMWPE* merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan mekanis dan ketahanan aus UHMWPE. Metode ini menghasilkan perubahan orientasi molekul-molekul yang sesuai dengan arah tarikan. *Die drawn UHMWPE* menghasilkan faktor keausan yang lebih rendah sekitar 25% dibandingkan dengan material asli ketika diuji gesek berpasangan dengan *counterpart* berpermukaan halus dan gerakan *multidirectional*^[2].

Selain melalui pendekatan pemrosesan material polymer, modifikasi sifat-sifat fisik pasangannya juga diharapkan dapat menurunkan laju keausan polymer, karena meskipun komponen logam mempunyai kekuatan dan kekerasan yang jauh lebih besar daripada polymer, namun beberapa penelitian melaporkan bahwa keausan juga terjadi pada permukaan komponen logam. Kerusakan permukaan tersebut akan meningkatkan kekasaran permukaan dan menghasilkan partikel keausan (*third body damaged*) yang dapat meningkatkan keausan polymer. Penelitian Dong dkk.^[3] menunjukkan bahwa permukaan logam TiAl4V mengalami ke-ausan ketika berpasangan gesek dengan UHMWPE. Sedangkan El-Domiaty dkk.^[4] mengungkapkan bahwa pada pengujian pasangan PE dengan *stainless steel* maupun paduan Co-Cr, terjadi guratan di kedua permukaan logam tersebut.

Untuk meningkatkan ketahanan aus permukaan komponen logam, modifikasi permukaan merupakan salah satu metode yang banyak diterapkan. Beberapa peneliti menerapkan lapisan keras tipis pada permukaan komponen logam. Ward dkk.^[5] meneliti tentang sifat keausan lapisan berbasis nitrida (TiN, TiAlN, ZrN) di permukaan *stainless steel* 316 L dan potensinya pada aplikasi *orthopaedic*. Percobaan lain juga dilakukan terhadap substrat TiAl4V dimana Dong dkk.^[3] meneliti tentang peningkatan kemampuan tribologikal UHMWPE dengan memodifikasi permukaan *counterpart* TiAl4V dengan beberapa metode (PVD DLC, implantasi ion N, perlakuan Thermal Oxidation dan Oxygen Diffusion). Sedangkan Kamali dkk menggunakan metode pelapisan Arc

Evaporative Physical Vapour Deposition (AEPVD) untuk melapiskan TiN ke permukaan substrat CoCr dan meneliti keausan polyethylene terhadapnya.

Pada penelitian ini digunakan metode *plasma nitriding* untuk memodifikasi permukaan 316 L *stainless steel*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh modifikasi permukaan dengan lapisan tipis terhadap faktor keausan *die drawn UHMWPE*.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Pengujian ini menggunakan pasangan material pelat logam dan pin UHMWPE. Spesimen logam terdiri dari pelat *austenitic stainless steel* 316 L (SS) berukuran 3 × 30 × 50 mm. Spesimen SS dihaluskan bertahap dengan amplas, dilanjutkan pemolesan dengan *alumine suspend* 3000 A° dan 8000 A°. Pelat dicuci dengan sabun dan dibersihkan dengan getaran ultrasonik di dalam alkohol selama 30 menit, kemudian dipanaskan 150 °C selama 30 menit sebelum dilapisi. Rata-rata kekasaran permukaan SS sebelum dilapisi sebesar 0,019 µm (Ra dengan λc 0,25).

Tabel 1. Parameter modifikasi permukaan.

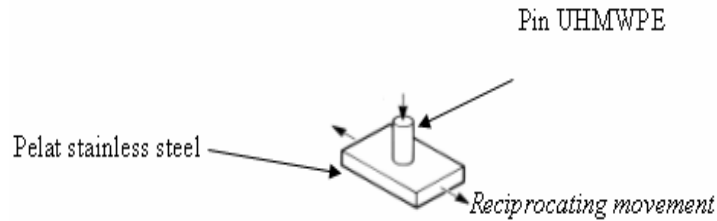
Parameter	Plasma nitriding
Temperatur substrat (°C)	300
Waktu pelapisan (menit)	150
Flow rate N (sccm)	18
Tekanan operasional (10 ⁻² atm)	6
Daya (kV)	3
Arus (mA)	30

Material PE yang digunakan adalah *die drawn UHMWPE* dengan *drawing ratio* 2. Spesimen UHMWPE dimesin dari balok UHMWPE hasil proses *drawing* untuk memperoleh bentuk pin berujung kerucut terpancung berdiameter 4 mm. Spesimen PE dibersihkan dengan getaran ultrasonik dalam alkohol selama 30 menit dan dikeringkan dengan tissue. Pin uji dan pin kontrol direndam dalam air destilasi selama beberapa hari untuk mengurangi penyerapan air selama pengujian berlangsung. Pin kontrol tetap direndam selama pengujian berlangsung dan berguna untuk mengetahui besarnya penyerapan air yang terjadi. Semua pin UHMWPE ditimbang sebelum pengujian. Penimbangan dilakukan dengan timbangan berketelitian 0,001 mg.

Untuk mengetahui pengaruh proses pelapisan dan memperkirakan kualitas lapisan, digunakan pengukuran kekerasan permukaan spesimen logam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Vickers micro-hardness tester dengan beban 10 g selama 5 detik.

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan surfcoorder untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sebelum dan sesudah pelapisan serta sesudah pengujian keausan. Parameter pengukuran yang digunakan adalah standar ANSI, filter Gauss dan cut-off length (λ_c) 0,25 μm .

Pengujian keausan dilakukan dengan mesin uji gesek jenis *unidirectional direction* yang dapat menguji 6 pasang spesimen sekaligus. Pelat SS terpasang pada bak dan direndam air destilasi. Beban normal sebesar 180 N diberikan pada tiap spesimen, sehingga dengan ujung pin berdiameter 4 mm, menghasilkan tekanan pada permukaan kontak pin dan pelat sebesar 14,32 N/mm^2 . Pin berada dalam posisi diam, sedangkan pelat akan bergeser sejauh 25 mm sehingga dengan frekuensi langkah 2,33 Hz akan menghasilkan kecepatan geser 116,5 mm/detik.



Gambar 1. Skema pengujian keausan.

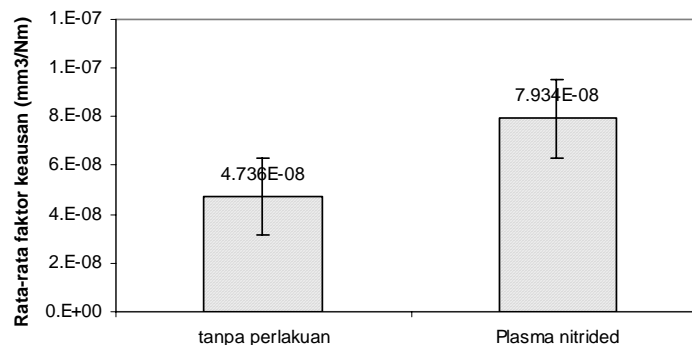
Pengujian berlangsung terus menerus selama 26 jam (setara dengan sekitar 234.000 langkah) dan kemudian dihentikan untuk menimbang pin. Siklus ini diulang lagi hingga mencapai 4 kali penimbangan. Pin uji dan kontrol kemudian dibersihkan dengan alkohol dalam getaran ultrasonic dan ditimbang. Untuk memperhitungkan penyerapan air yang terjadi selama pengujian, perubahan berat pin kontrol dikompensasikan ke perubahan berat pin uji. Jadi pengurangan berat akibat keausan yang dihitung adalah merupakan jumlah dari perubahan berat pin kontrol dan pin uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kekerasan dengan microhardness tester menunjukkan adanya peningkatan kekerasan lapisan permukaan yang dihasilkan oleh *plasma nitriding* sebesar 47% (253,89 HV).

Pengujian kekasaran permukaan menunjukkan adanya peningkatan kekasaran permukaan SS yang telah dilapisi dengan peningkatan 31% (0,019 menjadi 0,0249 μm).

Faktor Keausan

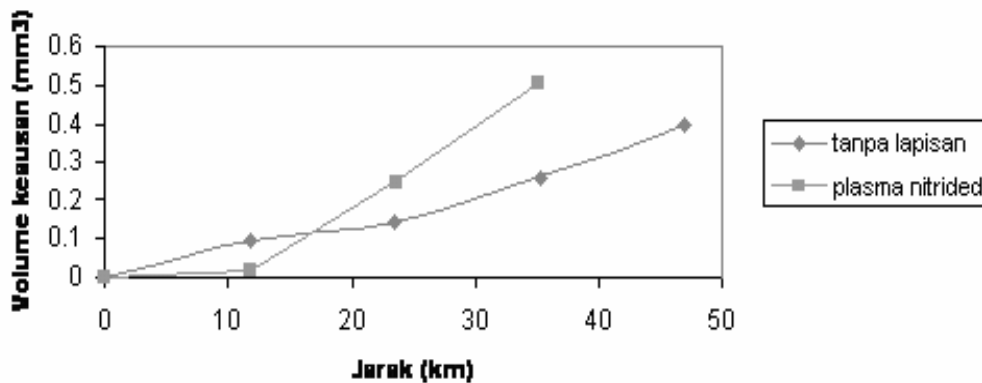


Gambar 2. Nilai rata-rata faktor keausan.

Pengujian keausan menunjukkan UHMWPE dengan *counterface plasma nitrided SS* menghasilkan faktor keausan yang lebih tinggi daripada SS tanpa lapisan. Rata-rata faktor keausan untuk masing-masing pasangan PE dengan SS tanpa lapisan dan *plasma nitrided SS* adalah $4,74 \cdot 10^{-8}$ dan $7,93 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.

Nilai faktor keausan yang lebih tinggi pada pasangan UHMWPE- *plasma nitrided SS* kemungkinan diakibatkan oleh beberapa hal. Pertama, peningkatan nilai kekasaran yang cukup besar pada permukaan SS yang dilapisi. Kekasaran

permukaan sangat berpengaruh pada keausan PE. Permukaan yang kasar akan mengakibatkan abrasi pada permukaan PE. Profil permukaan lapisan juga bisa menjelaskan terjadinya keausan ini, namun hal ini memerlukan pengamatan lebih jauh dengan SEM seperti yang dinyatakan Ward, dkk (1998): morfologi permukaan bisa mempengaruhi laju keausan pin PE. Kedua, masih munculnya goresan pada permukaan *plasma nitrided SS*. Pada Gambar 3 terlihat peningkatan tajam volume keausan plasma nitrided mulai terjadi pada siklus pengujian kedua (mulai jarak 11,7 km).



Gambar 3. Grafik hubungan volume keausan UMWPE dan jarak.

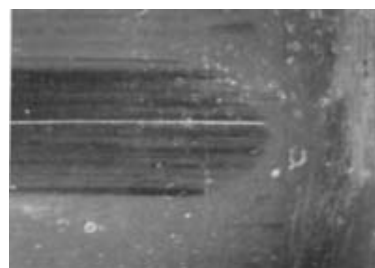
Berdasar pengamatan visual pada akhir siklus pertama pengujian, mulai muncul goresan halus pada plat berlapis. Gambar 4, dan 5 memperlihatkan goresan pada permukaan pelat SS tanpa perlakuan dan *plasma nitrided SS* pada akhir siklus pengujian ke dua (setelah mencapai jarak tempuh 23,44 km). Pada akhir siklus kedua goresan dalam bertambah banyak pada SS tanpa perlakuan dan goresan halus nampak bertambah banyak pada *plasma nitrided SS*. Pada Gambar 5 terlihat goresan

dalam (garis putih) dan goresan tipis (warna gelap) yang hampir memenuhi semua bekas lintasan pin.

Hal ini sebenarnya menunjukkan hal yang berlawanan, yaitu lapisan plasma nitriding mampu meningkatkan ketahanan aus permukaan SS dimana goresan dalam nampak jauh berkurang (Gambar 5), namun laju keausan PE yang berpasangan dengan pelat ini masih lebih tinggi daripada SS tanpa lapisan. Hal ini mungkin dapat diterangkan dengan morfologi permukaan dengan pengamatan SEM.



Gambar 4. SS tanpa perlakuan.



Gambar 5. Plasma nitrided SS.

Munculnya goresan yang dalam pada semua spesimen SS menunjukkan adanya pengaruh partikel hasil keausan (*wear debris*) yang berperan sebagai partikel abrasif. Pada SS tanpa lapisan, menurut L.P. Ward dkk.^[5], partikel keausan bisa muncul dari: partikel austenitic akibat keausan langsung per-mukaan SS, produk korosi SS yang berisi campuran oksida besi dan hydroxides, atau terbentuknya senyawa Cr. Sedangkan pada pelat berlapis, partikel abrasif tersebut berasal dari lepasnya partikel bahan pelapis (delaminasi).

Meskipun nilai kekerasan permukaan lapisan menunjukkan bahwa parameter proses pelapisan yang digunakan adalah yang paling optimal namun peningkatan nilai kekerasan tersebut memang tidak menunjukkan kenaikan yang sangat besar. Hal ini nampak sesuai dengan munculnya goresan baik pada *plasma nitrided SS* maupun pada TiN sputtered yang menunjukkan bahwa lapisan yang terjadi tidak cukup kuat mencegah keausan.

KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa lapisan pada permukaan *stainless steel* mempengaruhi sifat keausan UHMWPE dengan meningkatkan faktor keausan yang terjadi. UHMWPE yang berpasangan dengan pelat *plasma nitrided SS* menghasilkan faktor keausan $7,934 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ yang lebih tinggi daripada pasangan UHMWPE dan SS tanpa lapisan ($4,74 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$).

Lapisan tipis yang dihasilkan dari proses pelapisan yang digunakan tidak cukup meningkatkan ketahanan aus permukaan *stainless steel*, karena meskipun goresan yang terjadi pada semua SS yang berlapis jauh berkurang dibandingkan dengan SS tanpa lapisan, namun masih tetap muncul goresan.

Tingginya faktor keausan pada *counterface* SS berlapis merupakan efek dari meningkatnya kekasaran permukaan SS setelah dilapisi, ditambah dengan masih munculnya goresan di permukaannya serta kemungkinan pengaruh morfologi permukaan lapisan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini menggunakan fasilitas DC Sputtering P3TM BATAN Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DEARNLEY, P.A., *A Review of Metallic, Ceramic and Surface Treated Metals Used for Bearing Surfaces in Human Joint Replacement*, *Proc Instn Mech Engrs.*, Vol. 213 Part II, hal...., 1999.
- [2] 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 hal. 241-256, 2001.
- [3] DONG, H., SHI, W., dan BELL, T., *Potential of Improving Tribological Performance of UHMWPE by Engineering the Ti6Al4v Counterfaces*, *Wear* 225-229, hal.146-153, 1999.
- [4] EL-DOMIATY, A., EL_FADALY, M. dan NASSEF, A.ES., *Wear Characteristic of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)*, *Journal of Materials Engineering and Performance*. Volume 11(5) October, hal 577-583, 2002.
- [5] WARD, L.P., SUBRAMANIAN, C., STRANFFORD, K.N. dan WILKS, T.P., *Sliding Wear Studies of Selected Nitride Coatings and Their Potential for Long-Term Use in Orthopaedic Applications*, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 212 Part II hal. 303-315, 1998.

TANYA JAWAB

Trimardji A.

- Berapa perbesaran mikroskop yang digunakan untuk melihat permukaan/surface dari cuplikan yang telah dinitridasi? Mengapa tidak menggunakan SEM?
- Judul makalah "Pengaruh Lapisan Plasma" tidak ada lapisan plasma, yang ada adalah lapisan tipis (agar dijelaskan).
- Lapisan tipis yang dihasilkan tidak cukup meningkatkan ketahanan aus (kesimpulan). Lalu apa hasil positif dari penelitian ini.

Widi Widayat

- Menggunakan foto makro 25× pembesaran karena secara visual sudah terlihat adanya goresan. SEM akan dilakukan setelah pengujian keausan berakhir semua.
- Kesalahan bahan saja, yang dimaksud adalah lapisan hasil plasma nitriding.
- Sudah terjadi peningkatan ketahanan aus daripada SS tanpa lapisan (terlihat dari goresan yang jauh berkurang). Tetapi harapan untuk menghilangkan goresan sekuruhnya belum terjadi.

Subarkah

- *Kenaikan kekerasan substrat SS tidak besar 47%. Apakah kekerasan ini bukan berasal dari nitridasi namun berasal dari suhu plasma?*

Widi Widayat

- Secara teori suhu proses plasma nitriding yang digunakan (hingga 300 °C) tidak mampu merubah struktur mikro substrat SS (tidak merubah fasa). Temperatur 300 °C sangat jauh dibawah temperatur rekristalisasi (700 °C) sehingga tidak akan mempengaruhi kekerasan SS.