

EFEK IMPLANTASI ION TiN TERHADAP KEAUSAN DAN KEKERASAN KOMPONEN BANTALAN BOLA DALAM MEDIA KOROSIF KABUT AIR LAUT

Sinarep

Pengajar pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram, Lombok

Tjipto Sujitno

Staf Peneliti PTAPB-BATAN, Yogyakarta

Mudjijana

Pengajar pada Program Pasca Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin, FT-UGM, Yogyakarta

ABSTRAK

EFEK IMPLANTASI ION TiN TERHADAP KEAUSAN DAN KEKERASAN KOMPONEN BANTALAN BOLA DALAM MEDIA KOROSIF KABUT AIR LAUT. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh implantasi ion TiN terhadap korosi aus dalam media korosif kabut air laut dan kekerasan komponen bantalan bola. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh implantasi ion TiN terhadap keausan dan kekerasan komponen bantalan bola dalam media korosif kabut air laut. Untuk maksud tersebut implantasi ion TiN menggunakan mesin implantor ion 150 keV/2 mA di PTAPB-BATAN dilakukan pada berbagai variasi waktu implantasi yaitu 60, 70, 80, 90 dan 100 menit pada energi tetap sebesar 100 keV. Pengujian keausan dalam media kabut air laut menggunakan alat uji aus buatan sendiri dilakukan pada putaran poros 3100 rpm selama 3 s/d 12 jam, proses pengkabutan air laut menggunakan pompa kompresor pada laju 216 ml/jam dan tekanan 1 kgf/cm². Uji kekerasan untuk komponen dasar maupun komponen yang diimplantasi menggunakan alat uji keras microhardness tester di PAU-UGM, Yogyakarta. Dari hasil uji keras yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa kekerasan awal untuk bagian bola sebesar 864 VHN, untuk bagian ring dalam sebesar 828 VHN sedang untuk bagian luar sebesar 644 VHN, setelah diimplantasi dengan ion TiN untuk berbagai variasi waktu implantasi diperoleh kekerasan optimum sebesar 1220 VHN untuk bagian permukaan bola, 1149 VHN untuk ring luar dan 916 VHN untuk ring bagian dalam. Kondisi optimum tersebut dicapai pada waktu implantasi selama 90 menit. Dari hasil uji aus diperoleh hasil bahwa untuk komponen dasar volume teraus sebesar 110 mm³, sedang untuk yang diimplantasi volume terausnya sebesar 9 mm³. Kondisi ini dicapai pada waktu implantasi selama 90 menit.

Kata kunci; bantalan bola, implantasi ion TiN, kabut air laut dan aus.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TiN IMPLANTATION ON THE WEAR CORROSION IN MIST OF SEA WATER MEDIA AND HARDESS OF BALL BEARING COMPONENTS. Research on the effect of TiN ion implantation on the wear corrosion in mist of sea water media and hardness of ball bearing components has been carried out. The aim of this research is to study the effect of TiN ion implantation on the wear corrosion in mist of sea water media and hardness of ball bearing components. For the purpose, TiN ion implantation process was carried out using 150 keV/2 mA ion implantor for fixed energy in order of 100 keV and for various of time such as 60, 70, 80, 90 and 100 minutes at PTAPB-BATAN, Yogyakarta. Wear corrosion in mist of sea water media testing was done using wear tester homemade with the speed in order of 3100 rpm for 3 up to 12 hours. Spraying process was done by using a compressor pump with the speed of 216 ml/hour and pressure 1 kgf/cm². Hardness testing was applied for implanted and unimplanted samples using microhardness tester at PAU-UGM, Yogyakarta. It was found that the hardness of base material is around 864 VHN for the ball surface, 828 VHN for inner ring and 644 VHN for outer ring. After implantation process for various of time, the optimum hardness is 1220 VHN for the ball surface, 1149 VHN for outer ring and 916 VHN for inner ring. From the wear corrosion testing, it was found that for the base components the weared/corroded volume is 110 mm³, while for implanted componenmts is 9 mm³. Optimum conditions was achieved at the implantation time in order of 90 minutes.

Keywords : ball bearing, TiN ion implantation, sea water mist, wear

PENDAHULUAN

Bantalan bola merupakan salah satu komponen pendukung yang terdapat pada mesin dan bagian-bagian peralatan yang berputar sebagaimana yang terdapat pada komponen otomotif, perahu boat ataupun kapal laut. Pada dunia industri seperti perminyakan dan bahan kimia, mesin dan komponen bantalan bola akan mengalami keausan di bawah kondisi-kondisi korosif. Selama beroperasi, komponen ini bagian permukaannya disamping akan mengalami keausan akibat getaran yang diakibatkan oleh gerakan terus-menerus selama pembebanan juga akan mengalami korosi. Studi yang berkaitan dengan hal tersebut telah banyak dilakukan. Walaupun demikian, studi mengenai korosi-aus sangatlah berbeda dengan studi-studi lainnya dan efek kabut air laut merupakan salah satu parameter penelitian yang menarik untuk dilaksanakan.

Masalah yang timbul ini baik kekerasan maupun keausan akan menyebabkan umur pakai dari bantalan bola kemungkinan tidak lama, sehingga perlu diperlakukan proses lanjut untuk meningkatkan nilai kekerasan maupun keausannya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara memberi lapisan tertentu dan dengan teknik tertentu pula. Teknik pelapisan yang dipilih pada penelitian ini adalah implantasi ion TiN dengan variasi waktu dan pada energi konstan sebesar 100 keV. Dalam hal ini, bagian yang dilapisi *ball bearing* adalah ring dalam, ring luar dan bola, sedang uji korosi aus dilakukan dalam media korosif kabut air laut. Air laut diambil di Pantai Parangtritis. Dengan penelitian ini, diharapkan akan diperoleh kondisi optimum dari parameter pelapisan yaitu waktu implantasi. Uji keausan dilakukan dengan parameter variasi waktu implantasi ion, beban, dan waktu putaran dalam media korosif kabut air laut. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu implantasi ion TiN yang diimplantasikan pada energi 100 keV terhadap kekerasan dan laju korosi aus dalam media korosif kabut air laut komponen bantalan bola (*ball bearings*).

Berkaitan dengan penelitian komponen yang mengalami keausan tersebut, perbedaan kekerasan bersifat sangat signifikan antara bola dan ring, yang sebenarnya kedua hal ini menimbulkan gesekan sehingga memunculkan kasus keausan berupa komponen yang lunak akan habis lebih dahulu dibanding yang keras. Untuk itu, kekerasan bahan atau komponen sangat perlu ditingkatkan khususnya pada permukaan yang bergesek (Soekrisno, 2004). Masalah lain yang bisa terjadi dalam hal ini ialah bola dan ring akan berkarat atau mengalami korosi hampir di semua lingkungan atmosfer bila

kelembaban melebihi 60% dengan munculnya butiran-butiran air pada permukaan komponen (Widharto, 2001). Hasil yang ditunjukkan pada penelitian sebelumnya juga didukung oleh Huang dkk, 2003 adalah efek Cl⁻ pada perilaku korosi aus baja tahan-karat AISI 321 dalam media H₂SO₄. Ada suatu beban kritis pada potensial alami, yang korosi ausnya adalah sedikit diturunkan oleh Cl⁻, sedangkan di atasnya ditingkatkan.

Implantasi ion titanium dan *acetylene* pada permukaan baja bearing AISI 440 menghasilkan perbaikan yang signifikan terhadap ketahanan aus dan gesekan. Hal ini sangat potensial untuk memperbaiki sifat permukaan dan umur pakai bantalan bola (Zeng, dkk, 2003). Kerusakan akibat aus pada permukaan dapat diturunkan dengan meningkatkan kekerasan, yang salah satunya dengan implantasi ion TiN. Metode implantasi ion merupakan proses yang sangat menguntungkan dalam merubah sifat-sifat permukaan bahan, yang parameter-parameternya seperti jenis ion, energi, dosis yang diberikan serta sudut penembakan dapat diatur dan disesuaikan secara presisi (Moller dan Mukherjee, 2002).

Secara umum, modifikasi permukaan suatu komponen bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus permukaan dan untuk memodifikasi sifat friksionalnya (Hutchings, 1995). Modifikasi permukaan logam diharapkan akan meningkatkan ketahanan aus yang berarti menurunkan keausan logam.

Ada dua jenis pendekatan modifikasi permukaan yang digunakan pada komponen implantasi (Dearnley, 1999), yakni : Pertama, melapisi permukaan komponen logam dengan bahan yang lebih tahan aus. Kedua, mengeraskan permukaan dengan mengubah komposisi permukaan komponen logam dengan adanya elemen yang terdifusi. Proses yang termasuk dalam jenis pertama antara lain *sputtering* dan *plasma nitriding* sedangkan implantasi ion termasuk jenis kedua.

Volume teraus dapat dihitung menggunakan persamaan,

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

Sedang laju keausan dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$\text{Laju aus} = \frac{V}{S} \quad (2)$$

dengan :

S = $\pi d n t$, jarak tempuh

d = diameter poros

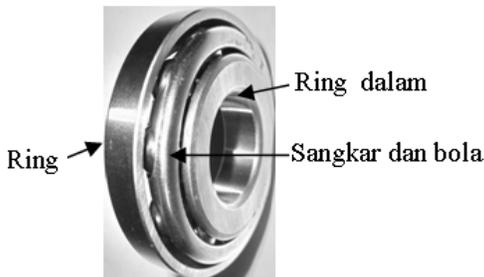
n = putaran poros (rpm)

t = waktu, menit

V = volume keausan (mm³)

METODE PENELITIAN

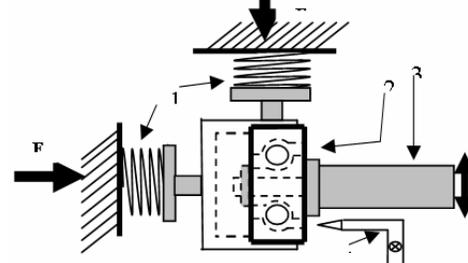
Dalam penelitian ini bahan yang digunakan meliputi serbuk TiN, kertas gosok dengan ukuran 600 sampai dengan 2000 mesh, autosol metal polish, alkohol, dan bantalan bola (*ball bearing*) tipe *angular contact ball bearing*, seri 20BSW01 yang mempunyai diameter dalam 20 mm, diameter luar 52 mm, diameter bola 10 mm, dan massa jenis 7,8 gr/cm³. Komposisi bahan bantalan bola sebelum diimplantasi ion TiN adalah ring luar: 97,61% Fe, 0,73% C, 0,86 % Cr, 0,35% Si, 0,27% Mn, Ring dalam: 97,32% Fe, 1,24% C, 0,68 % Cr, 0,33% Si, 0,28% Mn, bola: 96,41% Fe, 1,42% C, 1,24 % Cr, 0,34% Si, 0,29% Mn, dan sangkar: 98,89% Fe, 0,46% C, 1,24 % Cr, 0,25% Si, 0,18% Mn. Untuk pengujian korosi aus digunakan media korosif kabut air laut Pantai Parangtritis dengan kandungan NaCl 3,18%. Adapun alat yang digunakan adalah mesin implantasi ion, ultrasonik cleaner, alat uji keras *microhardness tester*, alat uji keausan, mesin polis, dan timbangan. Bentuk bantalan bola (*ball bearing*) sebagai sampel uji disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bantalan bola dengan dua arah pembebanan (aksial dan radial)

Untuk keperluan eksperimen, disiapkan benda uji bantalan bola sebanyak 73 buah, yang masing-masing terdiri dari 36 buah yang diimplantasi ion TiN, 36 buah tidak diimplantasi dan 1 buah untuk dipotong-potong untuk sampel uji keras. Untuk keperluan uji keras, satu buah bantalan bola dipotong menggunakan alat EDM (Electric Discharge Machine) dengan ukuran 6 × 6 × 3 mm kemudian dipoles sampai halus dengan kertas gosok dari ukuran 600 hingga 2000 mesh. Selanjutnya spesimen ini diimplantasi ion TiN pada energi 100 keV dengan berbagai variasi waktu yaitu dari 60, 70, 80, 90 dan 100 menit, kemudian diuji kekerasannya menggunakan alat uji keras dengan indentor Vickers. Dari hasil pengujian kekerasan untuk berbagai sampel yang diimplantasi dengan

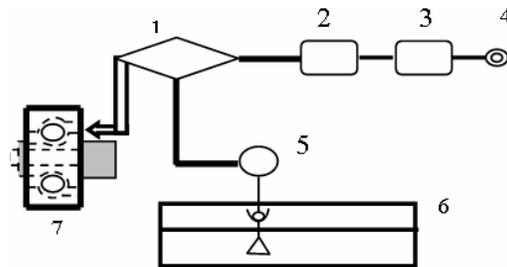
berbagai variasi waktu tersebut, akan didapatkan hasil kekerasan yang optimum. Dari hasil kekerasan optimum tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan implantasi ion TiN pada bantalan bola yang akan diuji korosi ausnya dalam media korosif kabut air laut. Di samping itu bantalan bola hasil implantasi ion juga akan difoto struktur mikronya, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan morfologi permukaan. Sedangkan spesimen yang diimplantasi untuk uji keausan adalah bagian ring luar, ring dalam dan bola. Bagian-bagian tersebut sebelumnya dibersihkan dengan alkohol dalam alat *ultrasonik cleaner*, dikeringkan baru kemudian diimplantasi dengan ion TiN. Adapun skema alat uji aus disajikan pada Gambar 2. Sedangkan skema sistim pengkabutan air laut disajikan pada Gambar 3.



Keterangan

1. Pegas
 2. Bantalan bola
 3. Poros
 4. Nozzel
- Fa. Beban aksial
Fr: beban radial

Gambar 2. Skema Alat Uji Keausan



Keterangan

1. Pipa pencampuran
2. Pengukuran tekanan
3. Saringan udara
4. Kompresor
5. Pompa
6. Air laut
7. Bantalan bola

Gambar 3. Sistem pengkabutan air laut

Bantalan bola yang sudah diimplantasi maupun yang tidak diimplantasi diuji ketahanan korosi ausnya dalam media korosif kabut air menggunakan alat seperti yang disajikan pada Gambar 2. Kemudian ditentukan beban aksial dan radial yang diletakkan pada masing-masing ujung lengan dengan cara memutar handel dan menekan pegas sehingga ujung kontak pin menekan permukaan bearing dan mendapatkan gaya atau beban, adapun bebannya adalah 37, 75 N, dan 149 N.

Untuk pengujian korosi aus dalam media korosif kabut air laut, terlebih dahulu mesin dijalankan sementara kecepatan air lautnya pun diukur terlebih dahulu dengan menggunakan mesin kompresor udara yang bertekanan udara 1 kgf/cm². Nozel alat painting diatur sesuai dengan kebutuhan air laut yaitu 216 ml/jam. Kemudian mesin dijalankan dengan putaran poros 3100 rpm dan air laut yang berupa kabut ditembakkan dengan nozel pada bantalan bola seperti yang disajikan pada Gambar 2 dan 3.

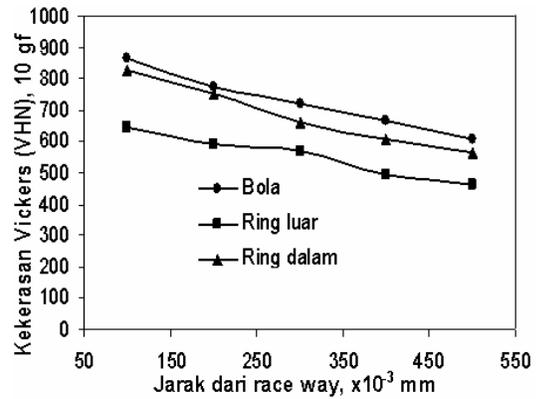
Dari setiap variasi beban dan waktu, diperoleh data kehilangan berat bantalan bola pada masing-masing perlakuan. Adapun data yang bisa diperoleh pada pengujian ini adalah pengurangan berat. Kemudian data tersebut diolah menjadi nilai korosi aus dalam media korosif kabut air laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan Awal Komponen Bantalan Bola

Kekerasan merupakan salah satu sifat bahan yang sangat mempengaruhi ketahanan aus dari bahan. Pada bantalan bola peningkatan kekerasan umumnya dicapai melalui proses perlakuan panas. Pada Gambar 4 disajikan hasil pengujian kekerasan Vickers pada beban 10 gf pada permukaan bahan bantalan bola yang tidak diimplantasi. Kekerasan awal bahan di *race way* yaitu bola 864 VHN, ring dalam 828 VHN dan ring luar 644 VHN.

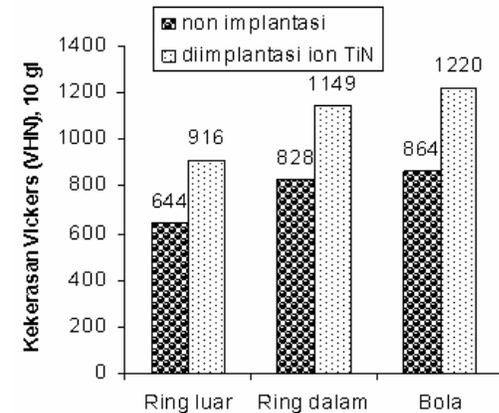
Bantalan bola yaitu ring luar, ring dalam dan bola memiliki kekerasan yang berbeda untuk masing-masing bagian, ring luar yang merupakan bagian yang paling lunak dibanding dengan ring dalam dan bola. Ring luar kemungkinan akan lebih cepat aus karena memiliki perbedaan kekerasan yang signifikan dibanding yang terjadi pada bola. Rata-rata perbedaan di sini, ring luar dengan bola 31% dan ring dalam dengan bola 7%. Untuk mengurangi keausan ring luar, ring dalam dan bola perlu dilakukan peningkatan kekerasan yaitu dengan metode implantasi ion TiN.



Gambar 4 Kekerasan Vickers (VHN) pada ring dan bola sebagai fungsi jarak race way

Kekerasan Komponen Bantalan Bola yang Diimplantasi Ion TiN

Gambar 5 menyajikan hasil pengujian kekerasan Vickers pada beban 10 gf pada permukaan bahan bantalan bola yang non implantasi dan yang diimplantasi ion TiN. Kekerasan awal bahan di *race way* yaitu bola 864 VHN, ring dalam 828 VHN dan ring luar 644 VHN. Kekerasan Vickers komponen yang diimplantasi ion TiN pada waktu 90 menit adalah ring luar sebesar 916 VHN, ring dalam 1149 VHN dan bola 1220 VHN atau mengalami peningkatan kekerasan bola 41 %, ring dalam 39 % dan ring luar 42%.

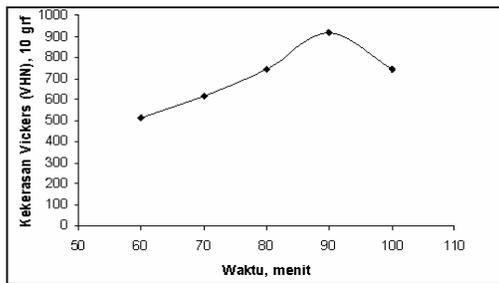


Gambar 5. Kekerasan Vickers (VHN) race way bantalan bola

Peningkatan angka kekerasan ini disebabkan oleh larutnya ion-ion TiN dalam material induk (matriks) secara substitusi. Fenomena ini dapat mengakibatkan pengerasan larut padat substitusi. Apabila jumlah ion TiN telah melampaui batas kelarutan, maka secara berangsur-angsur akan

membentuk fase baru yang memiliki sifat lebih keras daripada fase induknya. Terbentuknya fase baru tersebut bergantung pada jumlah ion TiN yang diberikan. Selain itu selama proses implantasi ion TiN juga terbentuk cacat sisipan yang akan menimbulkan medan tegangan dalam yang akibatnya juga akan memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekerasan permukaan bahan.

Gambar 6 merupakan hasil pengujian kekerasan Vickers beban 10 gf pada bantalan bola di *race way* yang diimplantasi ion TiN untuk 5 variasi waktu, juga tampak bahwa peningkatan kekerasan permukaan terjadi pada waktu implantasi dari 60 sampai 90 menit dan setelah itu mengalami penurunan kekerasan

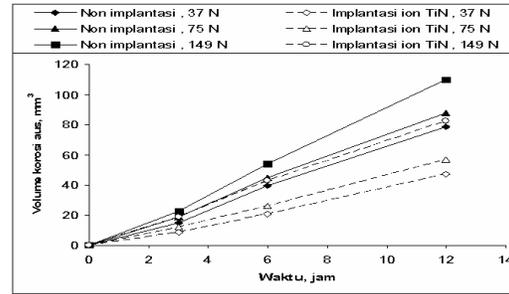


Gambar 6. Hubungan waktu implantasi ion TiN terhadap kekerasan permukaan ring luar bola

Dari Gambar 6 terlihat bahwa semakin meningkat waktu implantasi ternyata kekerasannya juga meningkat. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya waktu implantasi berarti jumlah ion TiN yang larut juga semakin banyak, pada hal kekerasan suatu bahan sangat ditentukan oleh jumlah ion terlarut. Kekerasan optimum sebesar 916 VHN (untuk ring luar) dicapai pada waktu implantasi 90 menit. Tetapi bila waktu implantasi diperlama, justru kekerasannya menurun. Hal ini dimungkinkan karena disamping selama proses implantasi benda uji menjadi panas akibat interaksi ion dengan benda uji, dengan semakin lamanya proses implantasi berarti ion-ion tersebut mempunyai kebolehdifusi untuk berdifusi ketempat yang lebih dalam juga akan semakin besar, dengan demikian batas kelarutan material target akan semakin melebar, yang berarti yang dulunya daya larut telah terpenuhi menjadi tidak terpenuhi, sehingga kekerasannya pun juga akan menurun. akan berkurang yang akan mengakibatkan penurunan kekerasan permukaannya

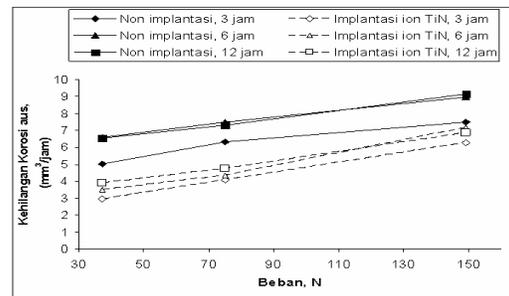
Korosi Aus dalam Media Korosif Kabut Air Laut

Gambar 7 menyajikan grafik hubungan volume korosi aus bantalan bola terhadap waktu pada putaran poros 3100 rpm. Terlihat jelas bahwa volume korosi aus komponen yang tidak diimplantasi meningkat dengan bertambahnya beban dan waktu. Volume aus tertinggi terdapat pada komponen yang tidak diimplantasi dengan beban 149 N dan waktu 12 jam yakni 110 mm³, dan yang terendah terjadi pada implantasi ion TiN dengan beban 37 N dan waktu 3 jam yakni 9 mm³.



Gambar 7. Pengaruh waktu pengausan terhadap volume korosi aus bantalan bola yang diimplantasi pada waktu 90 menit maupun material awal dalam media korosif kabut air laut pada putaran poros 3100 rpm

Hasil pengamatan pada ring luar dan ring dalam yang diimplantasi ion TiN menunjukkan penurunan volume korosi aus dibandingkan yang non implantasi. Hal ini sesuai harapan bahwa bahan yang diimplantasi akan meningkat kekerasannya dan mengurangi volume korosi aus bahan.



Gambar 8. Pengaruh beban terhadap korosi aus bantalan bola dalam media korosif kabut air laut pada putaran poros 3100 rpm

Gambar 8 memperlihatkan pengaruh beban terhadap korosi aus bantalan bola dalam media korosif kabut air laut pada putaran poros 3100 rpm. Kehilangan korosi aus meningkat dengan bertam-

bahnya beban pada komponen yang tidak diimplantasi dan terjadi pada beban 145 N dengan waktu 12 jam yaitu $9,1506 \text{ mm}^3/\text{jam}$ dan yang terendah terjadi pada implantasi ion TiN dengan beban 37 N selama 3 jam yakni $2,9530 \text{ mm}^3/\text{jam}$.

Hasil pengujian memperlihatkan peningkatan korosi aus relatif melonjak tajam seiring dengan bertambahnya beban pada material yang tidak diimplantasi. Sementara itu, untuk komponen yang diimplantasi ion TiN korosi aus mulai meningkat pada saat lapisan implantasi TiN terlepas dari logam induknya. Peningkatan ini disebabkan kabut air laut yang sangat agresif karena adanya percikan air laut yang terbawa oleh udara dan percikan yang mengandung NaCl dan garam-garam lain yang sangat korosif sehingga membentuk elektrolit kuat. Di samping itu, komposisi kimia seperti udara bisa juga mengandung garam-garam dan zat lainnya yang bersumber dari air laut. Apabila dikenai oleh air, endapan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ini semakin bersifat korosif dengan terbentuknya $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Selain itu, karena gesekan antara partikel-partikel logam. Peristiwa ini terstimulasi oleh adanya film tipis yang telah hancur disusul terjadinya kekasaran pada permukaannya yang makin bertambah. Munculnya film tipis ini memang sangat mempengaruhi ketahanan korosi aus, meskipun kontak gesekan dan degradasi menyebabkan penghancuran film tersebut secara cepat. Di sisi lain, kontaminasi mampu mempengaruhi lemahnya ikatan antara permukaan bantalan bola, yang akhirnya menimbulkan penurunan kekuatan geser antara permukaan. Hasil-hasil kehilangan korosi aus pada beban rendah dapat dijelaskan sebagai dampak produk korosi air laut-udara atau kabut air laut yang ada pada permukaan bantalan bola.

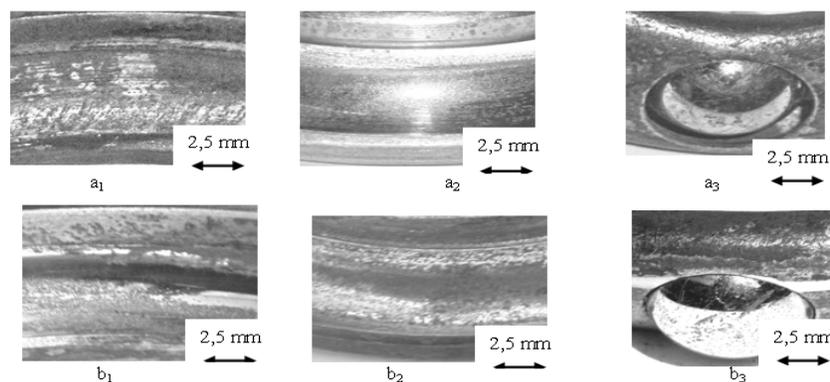
Foto Makro Bantalan Bola

Untuk mengetahui terjadinya korosi aus dalam media kabut air laut dari permukaan komponen

induk maupun yang diimplantasi telah dilakukan pengambilan foto, yang hasilnya seperti disajikan pada Gambar 9 Foto makro bantalan bola dengan media korosif kabut air laut bisa dilihat pada Gambar 9 a dan b.. Gambar 9 a adalah foto makro komponen yang tidak diimplantasi memperlihatkan goresan besar dan dalam untuk ring luar pada beban 149 N. Di sisi lain lapisan TiN yang diimplantasi ion terlihat mulai terkikis (Gambar 9 b).

Kabut air laut menyebabkan terbentuk dan berkembangnya goresan dengan hancurnya permukaan film pada *race way* bantalan bola yang tidak diimplantasi. Akan tetapi gejala perkembangan goresan tersebut bisa terlihat di bawah beban kritis. Dengan bertambahnya beban dan jarak ini, kesempatan perkembangan goresan tersebut akan mengalami pengurangan karena gesekan permukaan yang terjadi berjalan terus-menerus yang menyebabkan hancurnya permukaan film, sehingga goresan yang muncul sebelumnya bisa dibuat lebih dangkal atau bahkan hilang sama sekali (Huang dkk, 2003).

Walaupun demikian, kehilangan material yang disebabkan oleh tegangan geser mengalami pengurangan di bawah kondisi beban keausan yang rendah. Ada waktu yang cukup bagi goresan untuk berkembang sehingga goresan mengalami perubahan lebih besar dan dalam. Hal ini disebabkan karena tekanan udara dan percikan air laut yang mengandung NaCl dan garam-garam yang sangat korosif akan membentuk elektrolit kuat sehingga nantinya bisa mempengaruhi korosifitas bantalan bola.



Gambar. 9. Foto makro bantalan bola dengan media korosif kabut air laut. a. non implantasi dengan beban 149 N dan jarak 252433 m, b. implantasi ion TiN dengan beban 149 N dan jarak 252433 m. 1. ring luar. 2 ring dalam 3. bola dan sangkar.

KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan;

1. Implantasi ion TiN pada energi 100 keV dan arus ion 10 μ A selama 90 menit pada bahan bantalan menghasilkan kekerasan permukaan optimum sebesar 1220 VHN untuk bagian bola, 1149 VHN untuk ring dalam dan 916 VHN untuk ring luar. Kekerasan awal masing masing bagian adalah sebesar 864 VHN untuk bola, 828 VHN untuk ring dalam dan 644 VHN untuk ring luar atau kalau dinyatakan dalam persen peningkatannya berturut-turut 41 % untuk bola, 39 % untuk ring dalam dan 42% untuk ring luar.
2. Volume korosi aus yang diimplantasi ion TiN mengalami penurunan dan yang tidak diimplantasi mengalami peningkatan drastis dengan bertambahnya beban dan jarak sedangkan yang diimplantasi ion TiN hampir tidak terjadi kenaikan.
3. Ketahanan aus akan meningkat pada logam yang diimplantasi ion TiN. Hal ini ditandai dengan penurunan korosi aus dan laju aus apabila dibandingkan dengan yang terdapat pada logam yang tidak diimplantasi.
4. Foto makro bantalan bola non implantasi dengan media korosif kabut air laut yang memiliki goresan di dalam *race way* terlihat lebih dalam dan jumlahnya lebih banyak di bawah beban kritis dan goresan berkurang dengan bertambahnya beban dan jarak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Departemen Pendidikan Tinggi Jakarta, yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan Jenjang S-2. Ucapan terimakasih juga, penulis sampaikan kepada kepala, staf, teknisi, Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada dan kepada Kepala, staf, teknisi, Kelompok Aplikasi Akselerator Bidang Teknologi Akselerator dan Aplikasi Fisika Nuklir PTAPB-BATAN Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.

- [2] Huang, Y., Jiang X., Sizuoli, 2003, Effect of Cl⁻ on the Corrosive Wear of AISI 321 Stainless Steel in H₂SO₄ Solution, Bull. Mater. Sci., Vol. 26, No. 4, pp, 431-434. Indian Academy of Sciences.
- [3] Hutchings, I.M., 1992, Tribology Friction and Wear of Engineering Materials, London.
- [4] Moller, W. and Mukherjee, S., 2002, Plasma-Based Ion Implantation, Current Science, Vol. 83, No. 3NSK, 2003, Rolling Motion & Rolling Element, NSK Co. Ltd. Singapore.
- [5] Shen, L., Wang, k., Tie, J., Tong, H.H., Chen, Q.C., Tang, D.L., Fu, R.K.Y., and Chu, P.K., 2005, Modification of High-Chromium Cast Iron Alloy by N and Ti Ion Implantation, Surface & Coating Technology, Elsevier, PP, 196, 349-352.
- [6] Soekrisno, 2004, Perbandingan Kekerasan Struktur Mikro dan Komposisi kimia Bantalan Bola Produk Jepang dan China, Jurnal Mesin dan Industri, Vol. 1, No. 3, Hal. 9-14.
- [7] Widharto, S., 2001, Karat dan Pencegahannya, Pratnya Paramita, Jakarta.
- [8] Zeng, Z.M., Tian, X.B. and Chu, P.K., 2003, Ion Enhanced Deposition by Dual Titanium and Acetylene Plasma Immersion Ion Implantation, Journal Vacum Science Tecnology, A 21.

TANYA JAWAB

Drs. Ril Isaris, APU,

- Apakah tidak dilakukan pengujian (waktu) untuk mengetahui waktu terpanjang dimana tidak terjadi lagi penambahan kekerasan bahan?(*steady state*).
- Apakah bisa juga dilakukan eksperimen untuk melihat perubahan kekerasan dengan memvariasi arus implantor ion?
- Apakah bantalan bola tersebut merupakan komponen yang digunakan di kapal?

Tjipto Sujitno

- Untuk variasi waktu sudah dilakukan, tetapi hasil yang diperoleh bukanlah kekerasan yang *steady state*, tetapi justru kekerasannya menurun, hal ini dikarenakan sudah menjadi sifat bahan bahwa, pada kondisi unsur paduan tertentu akan menghasilkan fasa tertentu dengan sifat yang

tertentu pula. Jadi dalam eksperimen variasi waktu, hasil yang diperoleh adalah kondisi waktu optimum yang akan memberikan kekerasan tertinggi

- Perubahan kekerasan “sebanding” dengan jumlah ion/atom/unsur yang dimasukkan. Jumlah ion/atom/unsur tersebut sebanding dengan lamanya proses implantasi/waktu implantasi dan besarnya arus ion. Jadi untuk memperoleh jumlah ion/atom/unsur dapat diperoleh dengan dua cara yaitu dengan memvariasi arusnya dan waktu dibuat tetap atau waktu divariasi dengan arus ion dibuat tetap. Dalam praktek akan lebih mudah kalau arusnya dibuat tetap sedang lamanya/waktu proses divariasi.
- Bukan, komponen ini banyak digunakan pada industri otomotif.

Sayono

- *Kalau dilihat dari mekanisme pengerasan (penghalusan butir, terbentuknya fasa baru, larut padat, pengerasan regangan, texture, dsb), pengerasan dengan cara implantasi ion TiN ini, termasuk jenis pengerasan yang mana?*

Tjipto Sujitno

- Proses implantasi merupakan proses masuknya ion-ion/atom-atom (dalam hal ini Ti +N) dalam suatu target/material/komponen (dalam hal ini komponen *ball bearing*). Dengan masuknya ion/atom Ti+N yang tentunya akan menyebabkan medan tegangan dalam (internal stress) yang cukup besar. Karena ukuran dari atom Ti cukup besar, maka posisi atom Ti dalam material target hanya mungkin substitusi. Dari fenomena ini dapat disimpulkan bahwa mekanisme pengerasan yang terjadi adalah larut padat substitusi dan atau pengerasan karena regangan.