

PENGARUH IMPLANTASI ION AIN TERHADAP KEKERASAN DAN KEAUSAN BAHAN BANTALAN BOLA

Indreswari Suroso, Mudjjjana
Jurusan Teknik Mesin FT-UGM

Tjipto Sujitno
PTAPB-BATAN,

ABSTRAK

PENGARUH IMPLANTASI ION AIN TERHADAP KEKERASAN DAN KEAUSAN BAHAN BANTALAN BOLA. Bantalan bola merupakan salah satu komponen mesin yang sudah banyak digunakan. Bagian utama dari komponen ini adalah ring luar, ring dalam, dan bola. Gesekan selalu terjadi antara ring dan bola menyebabkan keausan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh implantasi ion AIN terhadap kekerasan dan keausan bahan ring dan bola pada bantalan bola. Pengujian kekerasan dan keausan dilakukan pada bahan ring bola dan bola sebelum dan setelah diimplantasi AIN. Proses implantasi ion AIN dilakukan pada energi tetap 100 keV dan waktu divariasi yaitu 60, 90, dan 120 menit. Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji mikro Vickers dengan indentasi 10 gram. Kekerasan awal bahan di raceway yaitu bola 864 VHN, ring dalam 828 VHN, dan ring luar 644 VHN, setelah diimplantasi ion AIN kekerasan bahan ring dan bola sebagai berikut: ring luar sebesar 925 VHN, ring dalam 1225 VHN dan bola 1253 VHN atau mengalami peningkatan kekerasan bola 45 %, ring dalam 48 % dan ring luar 43 %. Dari hasil uji aus diperoleh hasil bahwa laju keausan tertinggi pada beban aksial 100 N dan beban radial 100 N serta langkah 125×10^8 m sebesar $1,3 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N.m}$. Sedang laju keausan terendah diperoleh pada pembebanan radial 100 N dan aksial 50 N sebesar $3 \times 10^{-10} \text{ mm}^3/\text{N.m}$. Hasil pengujian komposisi bahan bantalan bola menggunakan SEM-EDAXS sebelum diimplantasi ion AIN 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. Setelah diimplantasi ion AIN maka komposisi kimia menjadi ring luar : 44,36% C; 7,55% N; 0,32% Al; 47,78% Fe, ring dalam : 45,64% C; 8,3% N; 6,54% O; 0,7% Si; 1,03% Al; 0,29%bP; 37,91% Fe, dan bola : 23,27% C; 8, 02% N; 68,18% Fe.

Kata kunci : bantalan bola, implantasi ion, kekerasan, keausan

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF AIN ION ON THE HARDNESS AND WEAR OF BALL BEARING MATERIALS. Ball bearing is commonly used as machine component. The main parts of this component are outer race, inner race, and ball. The friction between the race and ball causes the wear of race ball bearing. The aim of this research is to find out the effect of ion implantation on the hardness and wear of the material of the ball bearing race. Hardness and wear test was done to the material of the ball bearing race for unimplanted and implanted materials/components. The ion AIN implantation was done for various of time 60, 90, dan 120 minutes time with energy constant is 100 keV. Hardness test was done by using micro Vickers test instrument at indentation load of 10 gf. The unimplanted hardness of material in raceway of ball is 864 VHN, inner race is 828 VHN, and outer race is 644 VHN, and after implanted, the hardness of ball is 1253 VHN, inner race 1225 VHN, and outer race 1253 VHN or increasing in hardness of ball is 45 %, inner race is 48 % and outer race is 43 %. From wearness test, it was found that the highest wearness rate at axial and radial load in order of 100 N and the slidings 25×10^8 m is in order of $1,3 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N.m}$. While the lowest is in order of $3 \times 10^{-10} \text{ mm}^3/\text{N.m}$, this is achieved radial and axial load 100 N and 50 N respectively. The chemical composition analysis using SEM-EDAXS of ball bearing race before implantation process is: 97,61% Fe; 0,73% C; 0,86 % Cr; 0,35% Si; 0,27% Mn, for outer race, 97,32% Fe; 1,24% C; 0,68 % Cr; 0,33% Si; 0,28% Mn; for inner race, 96,41% Fe; 1,42% C; 1,24 % Cr; 0,34% Si; 0,29% Mn; for ball and 98,89% Fe; 0,46% C; 1,24 % Cr; 0,25% Si; 0,18% Mn for cage. After implantation process, the chemical compositions are: 44,36% C; 7,55% N; 0,32% Al; 47,78% Fe, for outer race, 45,64% C; 8,3% N; 6,54% O; 0,7% Si; 1,03% Al; 0,29%bP; 37,91% Fe, for inner race: and 23,27% C; 8, 02% N; 68,18% Fe for ball.

Keyword : ball bearing, ion implantation, hardness, wear

PENDAHULUAN

Untuk komponen bantalan bola (*ball bearing*), bagian ring dan bola dalam operasinya selalu bergesekan satu sama lain, sehingga bagian bantalan bola yang lunak akan cepat aus terlebih dahulu, untuk itu bagian ini perlu ditingkatkan sifat ketahanan ausnya. Sifat ketahanan aus itu sebanding dengan sifat kekerasannya, semakin keras material, maka material tersebut semakin tahan aus. Ini berarti dengan meningkatkan kekerasan permukaan suatu material/komponen secara tidak langsung meningkatkan ketahanan ausnya^[1].

Sifat kekerasan/ketahanan aus suatu permukaan material/komponen dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan unsur-unsur tertentu (seperti C, N, TiN, TiC maupun WC) atau dengan cara perlakuan panas (*surface heat treatment*). Ada beberapa cara untuk meningkatkan kekerasan permukaan suatu material/komponen, yaitu dari cara yang konvensional maupun dengan cara yang modern^[2].

Cara konvensional meliputi cara karburasi maupun cara nitridasi. Dalam cara karburasi, material/komponen dipanasi pada temperatur sekitar 900°C dalam lingkungan karbon aktif, kemudian di *quench* (didinginkan secara tiba-tiba/mendadak). Sedangkan dalam cara nitridasi material/komponen dimasukkan dalam suatu bak yang berisi garam cyanida dan dipanaskan pada temperatur sekitar 550°C. Proses tersebut berlangsung dalam waktu yang cukup lama yaitu sekitar 2 hingga 3 hari, tergantung pada ketebalan lapisan yang ingin dituju^[2].

Cara modern meliputi cara Plasma, Sputtering maupun cara Implantasi Ion. Cara Plasma sangat tepat dikenakan pada materi yang berujud gas. Sedang cara sputtering dapat menggunakan materi yang berujud gas maupun padatan^[3]. Akselerator implantasi ion merupakan jenis akselerator ion yang khusus didesain untuk mengimplantasikan ion-ion dari suatu atom atau molekul ke dalam suatu material. prinsip kerja mesin implantasi ion adalah pengionan atom-atom dopan dalam sumber ion, mempercepat ion-ion tersebut dalam tabung akselerator, dan selanjutnya memfokuskan ke permukaan suatu target. Untuk mendapatkan ion dopan yang benar-benar murni maka sebelum ditembakkan ke target, berkas ion tersebut terlebih dulu dilewatkan melalui magnet penganalisa baru kemudian ditembakkan ke permukaan material sasaran^[4].

Kelebihan-kelebihan dari teknik implantasi ion dibandingkan dengan teknik lain adalah:

1. Secara teori setiap ion dapat diimplantasikan ke suatu material tanpa komplikasi
2. Kemurnian ion dopan dapat dikendalikan dengan tepat, yaitu dengan memisahkan berkas ion oleh magnet pemisah berkas ion
3. Proses implantasi bersih, karena dilakukan di ruang hampa tanpa adanya paparan suhu tinggi yang beresiko pada kontaminasi permukaan
4. Proses dapat dikerjakan pada suhu kamar, dengan demikian kemungkinan timbulnya tegangan karena termal (*thermal stress*) dapat dihindari
5. Proses lebih cepat (dalam orde menit hingga jam), bila dibandingkan dengan metode konvensional (orde hari)^[5].

Dalam proses perlakuan permukaan menggunakan teknik implantasi ion Dalam proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) menggunakan teknik implantasi ion, faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang optimum meliputi energi (*E*), dosis/intensitas (*D*) dan jenis ion yang diimplantasikan maupun jenis material sasaran. Energi ion akan menentukan kedalaman penetrasi ion terimplantasi, sedangkan dosis ion akan menentukan konsentrasi/prosentase atom yang terimplantasi dalam material sasaran. Besarnya dosis ion ditentukan oleh nilai arus berkas (μA) maupun lamanya proses implantasi (detik).

Dosis ion didefinisikan sebagai jumlah ion yang sampai pada permukaan sasaran persatuan luas berkas (ion/cm). Besaran ini akan menentukan jumlah atau prosentase ion yang terimplantasi. Nilai dosis ion sebagai fungsi arus berkas ion dan lamanya proses implantasi (detik). Dalam prakteknya nilai dosis ion dapat diatur melalui dua cara yaitu dengan memvariasi besarnya arus ion sedangkan waktunya tetap atau lamanya proses implantasi divariasi sedangkan arus berkas ion dibuat tetap.

Besarnya jumlah ion yang diimplantasikan atau disebut dengan dosis ion dapat dihitung melalui persamaan^[5].

$$D = \frac{It}{eA_{\text{berkas}}}$$

dengan

D = Dosis ion (ion/cm)

I = arus berkas ion (ampere)

t = lamanya proses implantasi (detik)

A = luasan berkas (cm²)

e = muatan keunsuran elektron (1.602x10¹⁹ coulomb)

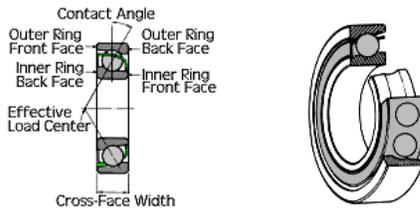
Besar energi ion diperoleh dari tegangan pemercepat yang terpasang pada tabung pemercepat. Energi kinetik berkas ion akan menentukan kedalaman penembusan (*penetration depth*) dan profil distribusi konsentrasi ion-ion dalam material sasaran. Besar kecilnya energi ion ini dapat dikontrol dengan mengatur besar tegangan tinggi yang terpasang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh implantasi ion AlN terhadap kekerasan dan keausan bahan ball bearing dan metode yang diterapkan adalah dengan cara implantasi ion.

DASAR TEORI

Bantalan Bola

Angular contact ball bearing mempunyai kemampuan menahan beban radial dan beban aksial. Sangkar bola terbuat dari baja biasanya digunakan, tetapi untuk sudut kontak kurang dari 30° digunakan sangkar bola dari resin *polyamide*. Tipe bantalan ini digunakan pada kecepatan tinggi misalnya poros mesin gerinda dan poros tegak motor elektrik. (NSK, 2003). Gambar 2.3 menunjukkan gambar dari *single row angular contact ball bearing* :



Gambar 1. Single row angular contact ball bearing

Kekerasan Bahan

Kekerasan permukaan bahan dapat didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap deformasi plastis. Ada beberapa cara untuk mengukur kekerasan permukaan bahan diantaranya adalah metode Brinell, Rockwell, Knoop dan Vickers. Untuk uji keras permukaan lapisan tipis, metode uji yang paling tepat adalah uji Knoop dan Vickers.

Untuk uji Vickers secara matematik, nilai kekerasan Vickers dapat dituliskan dalam bentuk persamaan^[6],

$$VHN = 1,854 P/d^2 \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

dengan:

- P=beban yang diberikan (kg)
- d = diagonal bekas injakan (mm)

Keausan Bahan

Keausan material/komponen dapat didefinisikan sebagai hilangnya material akibat bergesekan dengan komponen lain, secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut^[7]

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

Sedangkan laju keausan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan

$$\text{Laju Keausan} = \frac{V}{S} \quad (4)$$

dengan,

S merupakan jarak tempuh, yang besarnya adalah

$$S = \pi d n t \quad (5)$$

dengan

- V = volume keausan
- S = jarak tempuh
- d = diameter
- n= putaran poros
- t = waktu

METODE PENELITIAN

Bahan Yang Digunakan Pada Penelitian

Bantalan bola dengan no seri 20 BSW 01, AlN berbentuk serbuk sebagai bahan yang akan diimplantasi, kertas gosok dengan ukuran 600 sampai dengan 2000 mesh untuk menghaluskan permukaan spesimen (benda uji), autosol metal polish untuk memoles spesimen dan alkohol untuk membersihkan spesimen. Gambar 2 menunjukkan gambar *ball bearing* untuk spesimen (benda uji) :



Gambar 2. Bantalan bola dengan dua arah pembebanan ring luar, 2. ring dalam, 3. bola dan sangkar, 4. potongan bantalan bola

Adapun spesifikasi teknis dari bahan uji disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi bahan uji bantalan bola

Diameter dalam (d)	20 mm
Diameter luar (D)	52 mm
Diameter bola (d_1)	10 mm
Lebar	15 mm
Bahan ring dan bola	Baja paduan
Masa jenis bearing	7,8 g/cm ³

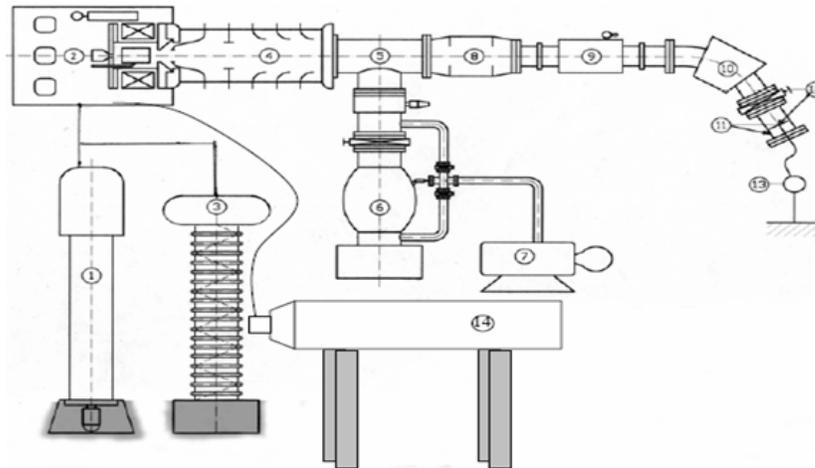
Alat-Alat Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi,

1. Mesin implantasi ion, dilengkapi dengan pompa rotary, pompa difusi, sistem kontrol vakum, kontrol aliran gas, kontrol suhu, sumber tegangan tinggi DC, sistem pendingin dan regulator tekanan gas. Alat ini ada di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN Yogyakarta.
2. *Ultrasonik cleaner*, untuk membersihkan benda uji yang diimplantasi ion. Alat ini ada di

Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN Yogyakarta.

3. Alat uji mikro *Vickers hardness tester* di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin (D3) Universitas Gadjah Mada.
4. Mikroskop Optik, untuk foto permukaan bantalan bola. Alat ini ada di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin (D3) Universitas Gadjah Mada.
5. Alat uji keausan, untuk menguji keausan bantalan bola.
6. Mesin polis
7. EDM, untuk memotong bantalan bola. Alat ini ada di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Alat timbangan, untuk menimbang perubahan berat bantalan bola. Alat ini ada di Laboratorium Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB)-BATAN Yogyakarta.
9. SEM/EDX milik Laboratorium Geologi Kwartir Bandung



Keterangan

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sumber tegangan terisolir | 8. Lensa quadrupol |
| 2. Kotak terisolir | 9. Pemandu berkas |
| 3. Sumber tegangan tinggi | 10. Magnet analisator ion |
| 4. Tabung akselerator | 11. Parade cup (ruang sasaran) |
| 5. Pipa T | 12. Target sampel yang diionisasi |
| 6. Pompa difusi | 13. Alat ukur arus berkas ion |
| 7. Pompa rotari | 14. Tabung gas nitrogen |

Gambar 3. Skema alat implantasi ion (Sumber : PTAPB BATAN Yogyakarta)

Pelaksanaan Penelitian

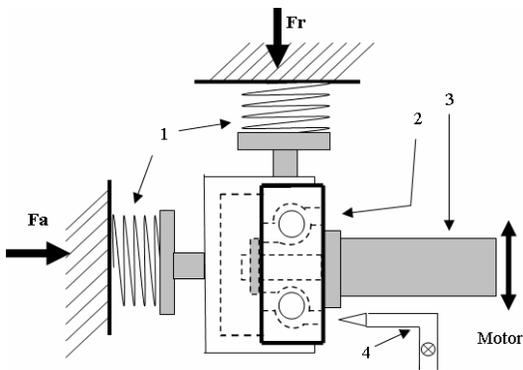
Implantasi ion AIN pada bahan *ball bearing* dilakukan dengan waktu dan energi tetap sebesar masing-masing , 90 menit 100 keV. Pengujian aus dilakukan pada kecepatan 3000 rpm, beban aksial 5 kg dan beban radial 5 kg dengan variasi waktu 3, 6, dan 12 jam. Pengujian kekerasan mikro Vickers dilakukan dengan beban 10 gram

Proses Implantasi Ion AIN

Spesimen diimplantasi ion AIN), serbuk AIN sebagai target diletakkan pada katoda dan benda uji ring dan bola diletakkan pada anoda kemudian dilakukan pemvakuman. Setelah proses pemvakuman tercapai, sumber tegangan tinggi DC dihubungkan dengan terminal katoda dan anoda. Adapun skema alat implantor ion disajikan pada Gambar 3.

Alat Uji Keausan

Alat uji keausan dibuat oleh peneliti dengan kecepatan tinggi 3000 rpm sehingga mudah dalam penelitian dan perhitungan tingkat keausan bahan ring bantalan bola *single row angular contact ball bearing*. Bahan ring permukaannya dibuat rata dengan ukuran 6 mm × 11 mm. Sebagai pemegangnya dipasangkan ke resin dengan panjang 40-60 mm, tinggi 25 mm dan tebal 5-10 mm. Skema alat uji keausan disajikan pada Gambar 4.



Keterangan

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

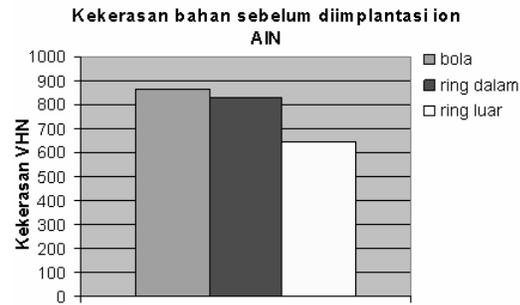
Gambar 4. Alat uji keausan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan Vickers

Kekerasan bahan ring yang sebelum diimplantasi

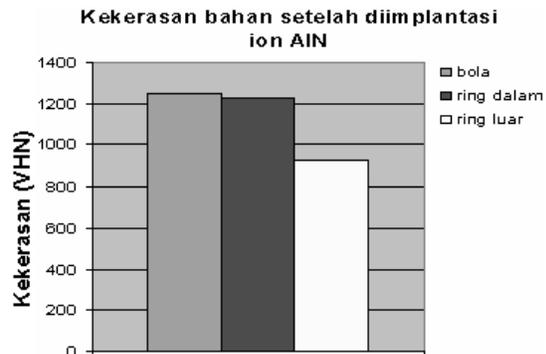
Pada Gambar 4.1 menyajikan hasil pengujian kekerasan Vickers beban 10 gram pada permukaan bahan bantalan bola yang tidak diimplantasi. Kekerasan awal bahan di *race way* yaitu bola 864 VHN, ring dalam 828 VHN dan ring luar 644 VHN.



Gambar 5. Grafik kekerasan Vickers (VHN) komponen ball bearing sebelum diimplantasi ion

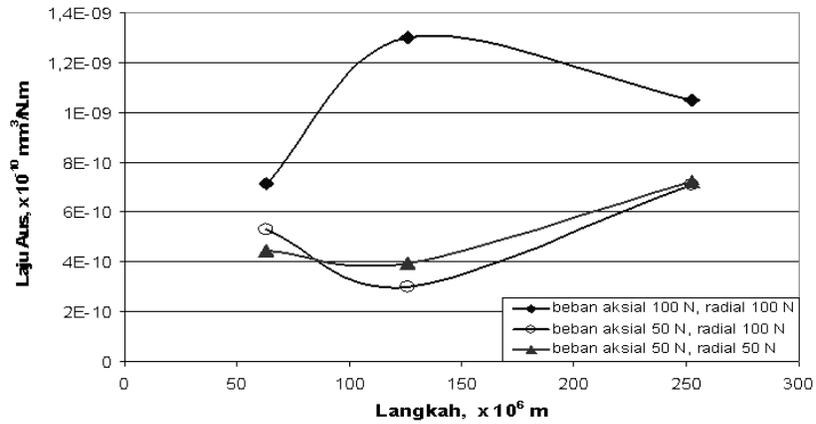
Hasil uji kekerasan bahan setelah diimplantasi AIN

Hasil uji kekerasan untuk bantalan bola yang diimplantasi ion selama 90 menit dan energi 100 keVring adalah; untuk ring luar sebesar 925 VHN, ring dalam 1225 VHN dan bola 1253 VHN atau mengalami peningkatan pada, ring dalam 48 %, ring luar 43 % dan bola 45 %. Gambar 6 menunjukkan grafik kekerasan bahan setelah diimplantasi ion AIN selama 90 menit dan pada energi 90 keV.



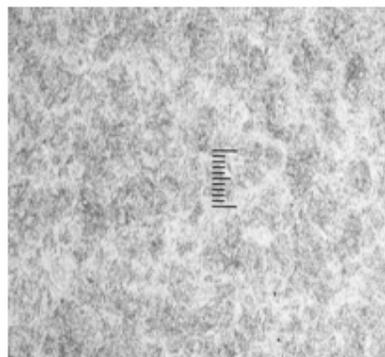
Gambar 6. Grafik kekerasan bahan setelah diimplantasi ion AIN

Hasil uji keausan

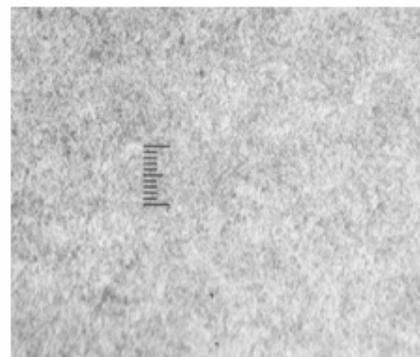


Gambar 7. Laju aus bantalan bola terhadap langkah

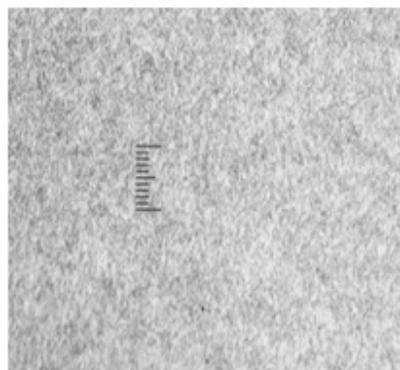
Hasil foto struktur mikro



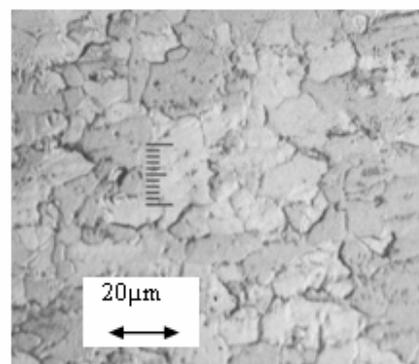
(a) Struktur mikro ring luar



(b) Struktur mikro bola



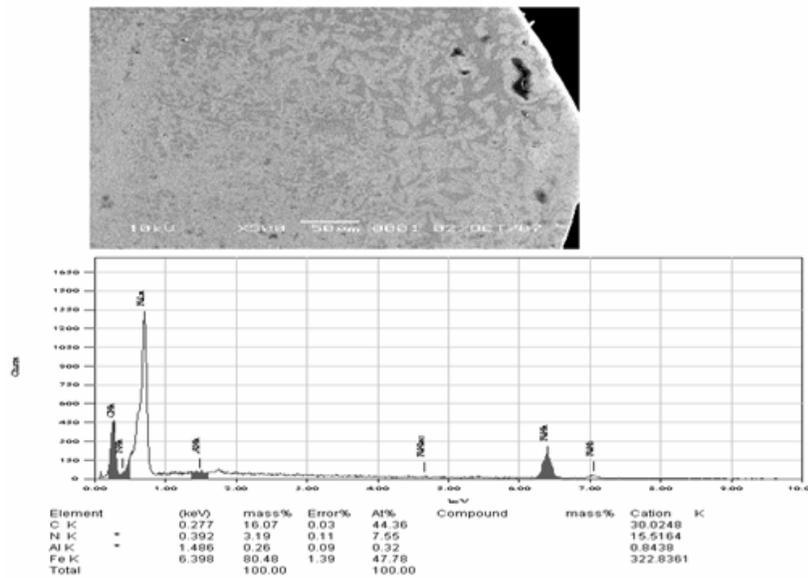
(c) Struktur mikro ring dalam



(d) Struktur mikro sangkar

Gambar 8. Struktur mikro permukaan untuk (a) Struktur mikro ring luar, (b) Struktur mikro bola, (c) Struktur mikro ring dalam, (d) Struktur mikro sangkar

Hasil Analisa Unsur Menggunakan SEM-EDAXS

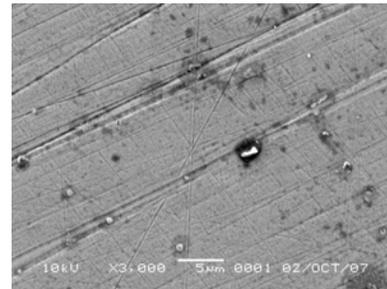


Gambar 9. Hasil EDX ring luar pada bantalan bola perbesaran 300×

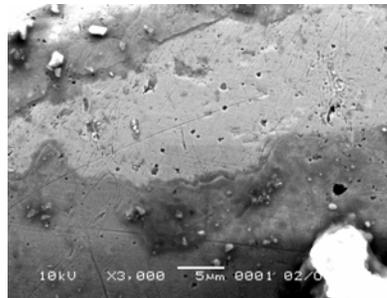
Dari hasil pengujian aus diperoleh hasil bahwa laju keausan tertinggi pada saat beban aksial 100 N dan beban radial 100 N serta langkah 125×10^8 m pada laju keausan $1,3 \times 10^{-10}$ mm³/N.m Namun laju keausan terendah saat pembebanan radial 100 N dan aksial 50 N adalah sebesar 3×10^{-10} mm³/N.m.

Hasil pengujian komposisi bahan bantalan bola memberikan informasi bahwa bantalan bola sebelum diimplantasi ion AlN merupakan baja paduan dengan unsur utama untuk 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. Setelah diimplantasi ion AlN maka komposisi kimia menjadi ring luar : 44,36% C; 7,55% N; 0,32% Al; 47,78% Fe, ring dalam : 45,64% C; 8,3% N; 6,54% O; 0,7% Si; 1,03% Al; 0,29%bP; 37,91% Fe, dan bola : 23,27% C; 8, 02% N; 68,18% Fe.

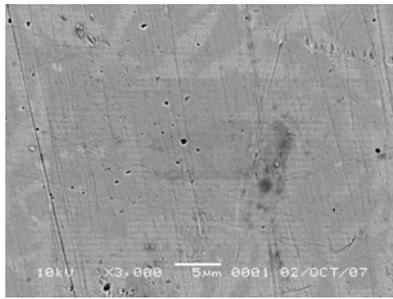
Hasil foto sem bantalan bola perbesaran 3000x



Gambar 4.14 Gambar Foto SEM bola pada bantalan bola perbesaran 3000×



Gambar 4.16 Gambar Foto SEM Ring dalam pada bantalan bola perbesaran 3000×



Gambar 4.18 Gambar Foto SEM Ring luar pada bantalan bola perbesaran 3000x

KESIMPULAN

1. Kekerasan awal bahan di raceway yaitu bola 864 VHN, ring dalam 828 VHN, dan ring luar 644 VHN, setelah diimplantasi ion AlN kekerasan bahan ring dan bola sebagai berikut: ring luar sebesar 925 VHN, ring dalam 1225 VHN dan bola 1253 VHN atau mengalami peningkatan kekerasan bola 45 %, ring dalam 48 % dan ring luar 43 %. Nilai keausan diperoleh dengan memvariasikan beban pada alat uji aus.
2. Hasil pengujian komposisi bahan bantalan bola sebelum diimplantasi ion AlN 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. Setelah diimplantasi ion AlN maka komposisi kimia menjadi ring luar : 44,36% C; 7,55% N; 0,32% Al; 47,78% Fe, ring dalam : 45,64% C; 8,3% N; 6,54% O; 0,7% Si; 1,03% Al; 0,29% bP; 37,91% Fe, dan bola : 23,27% C; 8,02% N; 68,18% Fe.
3. Dari hasil uji aus diperoleh hasil bahwa laju keausan tertinggi pada beban aksial 100 N dan beban radial 100 N serta langkah 125×10^8 m sebesar $1,3 \times 10^{-10}$ mm³/N.m. Sedang laju keausan terendah diperoleh pada pembebanan radial 100 N dan aksial 50 N sebesar 3×10^{-10} mm³/N.m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] WILLIAM F. SMITH, 1990, Principles of Materials Science and Engineering, McGrawHill, Inc, Third Edition.
- [2] METAL HANDBOOK 8th Edition, Vol 2, 1964, , Heat Treating, Cleaning and Finishing, American Society for Metals.
- [3] Shen, L., Ricky, F.U., Paul, C.H.U., 2004, “*Shyntesis of AlN Films by Plasma Immersion*

Ion Implantation-Deposition using Hybrid Gas-Metal Cathodic Arc Gun”, Scientific Instrument, pp.719-724

- [4] Moller, W. and Mukherjee, S., 2002, “Plasma-Based Ion Implantation”, Current Science, Vol. 83, No. 3
- [5] Ueda, M., Gomes, F. G., Kostov, K. G., Reuther, H., Lepiński, C., M., Soares, Jr., Takai, O., dan Silva, M. M., 2004, “*Result from Experiment on Hybrid Plasma Immersion Ion Implantation*”, Brazilian Journal of Physics
- [6] GEORGE E. DIETER, 1986, Mechanical Metallurgy, Third Edition, McGraw-Hill Book Company
- [7] Yao, S. H., Kao, W. H., Su, Y. L., Liu, T. H., 2004, “Effect of Periods on Wear Performance of TiN/AlN Superlattice Films, “*Material Science and Engineering A* 392, pp 380-385.

TANYA JAWAB

Bambang Siswanto

- Kekerasan bahan awal 864 VHN, 828 VHN dan 644 VHN setelah diimplantasi kekerasannya meningkat 45%, 48% dan 43%, mengapa peningkatannya tidak linier?

Indraswari Suroso

- Hal ini disebabkan karena permukaan material hasil implantasi ion bervariasi setelah diuji kekerasannya sehingga hasil kekerasan implantasi ion AlN tidak linier, bisa saja linier tergantung komposisi Al dan N dapat dilihat dalam EDAX maka kekerasan bahan meningkat tergantung dari komposisi Al dan N

Iping Suhariadi

- Sebelum diimplantasi misal ring luar komposisi Fe cukup tinggi dan unsur ion logam yang lain kurang dari 1%, dan setelah diimplantasi ring luar komposisi Fe menurun cukup signifikan dari komposisi untuk unsur non logam yang lain meningkat. Tetapi kenapa dikatakan setelah implantasi, terjadi peningkatan kekerasan, padahal komposisi unsur logam menurun?

Indraswari Suroso

- Fungsi dari implantasi ion AlN diharapkan untuk meningkatkan kekerasan bahan sehingga bantalan yang kekerasannya paling rendah (ring luar), bola, ring dalam diharapkan kekerasannya meningkat hal ini diluar komposisi Fe karena yang diimplantasikan AlN sehingga yang kita lihat dalam EDAX adalah komposisi Al dan N-nya

Gatot Tri Mulaydi Rekso

- *Kenapa dipilih AlN untuk implantasi*
- *Apakah ada komposisi ion lain yang lebih baik, karena dengan AlN peningkatan kekerasan sekitar 43-48%*

Indraswari Suroso

- Ion AlN karena sudah ada penelitian yang mendahului kami TiN, N sebenarnya masih banyak yang lain namun kami tertarik karena untuk membandingkan dengan TiN, N ternyata hasilnya lebih baik dibandingkan dengan TiAl dan N
- Selama kami melihat hasil penelitian pendahulu kami TiN, dan N peningkatan kekerasan tertinggi pada ion AlN.

Silakhuddin

- *Jika dosis diartikan sebagai tergantung arus ion x waktu., tapi mengapa dalam makalah/ abstrak tidak dicantumkan besar arus ion atau jumlah ion/cm² yang diimplankan*
- *Mengapa kandungan Fe dan C pada sebelum dan sesudah implantasi berbeda menyolok, misal untuk ring luar; sebelum 97,6% Fe; 0,73% C sedangkan sesudah 47,78% Fe; 44,36% C*

Indraswari Suroso

- Arus ion =10 μ A dan 100 keV dan waktu optimum 90 menit
- Sebelum diimplantasi adalah bantalan bola jenis baja paduan karbon sedang, setelah diimplantasi mungkin terdapat adanya minyak difusi sehingga ikut terimplantasi.