

KARAKTERISASI SIFAT KOROSI DAN KEKERASAN DARI LAPISAN IMPLANTASI ION CHROMIUM (CR) DAN CHROMIUM NITRIDA (CRN) PADA BAJA POROS AISI 4140

Viktor Malau¹ dan Reza Putra²

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM
Jl. Grafika 2 Yogyakarta, 55281

Phone: +62-274-521673, FAX: +62-274-521673, E-mail: malau@ugm.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UNSYAH, Aceh

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lapisan tipis dari implantasi ion Cr dan nitrida CrN terhadap kekerasan dan laju korosipermukaan baja AISI 4140 dalam larutan 0,5 % NaCl. Bahan AISI 4140 termasuk baja paduan rendah dengan komposisi 0,41 % C; 0,20 % Mo; 1,10 % Cr; 0,70 % Mn dan 0,30 % Si. Bahan ini banyak digunakan untuk keperluan pin dan poros pompa.

Lapisan Cr diperoleh dengan cara mengimplantasikan serbuk CrO_3 ke permukaan spesimen sedang lapisan CrN dihasilkan dengan mengimplantasikan gas N_2 ke permukaan spesimen yang telah diberi lapisan implantasi Cr. Parameter penelitian terdiri dari lama implantasi yaitu 45, 60, 75, 90, 120, dan 150 menit dengan arus implantasi konstan sebesar 10 μA dan energi implantasi konstan 100 keV. Proses implantasi dilakukan dalam ruang vakum. Kekerasan permukaan spesimen dapat diketahui dengan uji indentasi mikro Vickers pada beban 10 gr, sedangkan laju korosi dapat diketahui dengan metode polarisasi dengan tiga elektroda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan lapisan Cr dan CrN mengalami kenaikan bila lama implantasi naik dari 60 menjadi 90 menit, dan selanjutnya kekerasan ini akan menurun bila lama implantasi lebih besar dari 90 menit. Secara umum lapisan CrN memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan Cr. Kekerasan optimum/maksimal lapisan Cr adalah 389 $VHN_{0,01}$ dan kekerasan optimum/maksimal lapisan CrN adalah 439 $VHN_{0,01}$ untuk lama implantasi 90 menit. Laju korosi lapisan implantasi Cr dan CrN mengalami penurunan bila lama implantasi naik sampai 75 menit dan selanjutnya laju korosi ini hampir konstan jika lama implantasi lebih besar dari 75 menit. Secara umum, laju korosi lapisan CrN lebih rendah dari laju korosi lapisan Cr dalam larutan 0,5 % NaCl. Laju korosi terendah lapisan Cr adalah 42,80 mpy, sedang laju korosi terendah lapisan CrN adalah 55,20 mpy untuk lama implantasi 75 menit. Jadi untuk mendapatkan laju korosi minimum dari lapisan Cr dan CrN dalam larutan 0,5 % NaCl, maka lama implantasi optimum adalah 75 menit untuk arus implantasi 10 μA dan energi implantasi 100 keV.

Kata kunci: implantasi ion Cr dan CrN, kekerasan, laju korosi

1. Pendahuluan

Penggunaan baja sangat luas dalam industri-industri, bahan-bahan konstruksi dan untuk beberapa komponen mesin yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, tahan aus, tahan korosi, permukaan yang halus sekaligus tahan dampak tetapi ulet dibagian dalam. Perbaikan terhadap sifat-sifat material yang sesuai dengan kebutuhan menjadikan ilmu material berkembang pesat sampai saat ini.

Dalam perkembangannya, salah satu cara untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik material adalah merekayasa sifat pada baja dan paduannya dengan proses perlakuan permukaan (*surface treatment*) yang

secara umum dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu dari permukaan suatu bahan seperti: peningkatan ketahanan korosi, aus, kekerasan dan kekuatan. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan bahan adalah dengan memberi lapisan pada permukaan bahan tsb. Ada banyak metode pelapisan yang dapat diempuh dan salah satu diantaranya adalah implantasi ion. Implantasi ion merupakan teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD) dimana ion dicangkokkan ke permukaan bahan dengan cara menembakkan ion-ion ke permukaan bahan.

Penelitian ini memilih cara implantasi ion untuk mendapatkan lapisan tipis pada permukaan baja AISI



4140. Implantasi ion dilakukan dengan cara mengionkan atom-atom, kemudian mempercepat ion-ion tersebut dalam suatu medan listrik dan kemudian ditembakkan pada permukaan spesimen. Penyisipan ion ke dalam material itu dilakukan dengan menggunakan akselerator bertegangan tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lapisan tipis implantasi Cr dan CrN terhadap kekerasan dan ketahanan korosi baja AISI 4140 dengan parameter penelitian berupa: lama waktu proses implantasi (45, 60, 75, 90, 120, 150 menit) dengan energi ion 100 keV, arus berkas 10 μ A dan tekanan vakum. Penelitian dilakukan juga terhadap *raw material* yang tidak diberi lapisan implantasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi bagi pengguna untuk mengetahui lama implantasi optimum agar diperoleh laju korosi terkecil dan kekerasan tertinggi.

2. Tinjauan Pustaka

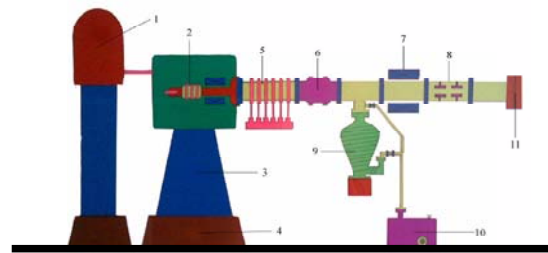
Bayon melakukan penelitian terhadap perilaku laju korosi dan laju keausan dari lapisan *multilayer* Cr/CrN pada permukaan baja F1272. Lapisan Cr/CrN diperoleh dengan teknik *PVD arc catodic*. Media korosif yang digunakan adalah larutan NaCl 0,05M. Hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa lapisan multilayer Cr/CrN menurunkan laju korosi dan laju keausan permukaan baja F1272 [1]. Zhou melakukan penelitian terhadap ketahanan gesek dan aus dari lapisan *Arc Ion Plating* CrN pada aluminium Al 2024 dalam lingkungan air dan udara. Hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa laju keausan menurun setelah permukaan Al 2024 diberi lapisan CrN [2]. Kim telah melakukan implantasi nitrogen dengan variasi dosis ion pada permukaan baja khrom tinggi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa lapisan implantasi nitrogen memberikan kenaikan kekerasan permukaan baja khrom sampai 260 % [3]. Lapisan implantasi nitrogen dengan teknik *Plasma Immersion Ion Implantation* (PIII) pada permukaan baja karbon rendah menghasilkan tebal lapisan merata dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan laju korosi bahan tanpa lapisan [4]. Sementara penelitian Zulhanif mengungkapkan bahwa lapisan implantasi Cr pada baja karbon rendah mampu menaikkan kekerasan permukaan sebesar 50 % dan memperbaiki ketahanan fatik permukaan [5].

3. Landasan Teori

i. Implantasi Ion

Gambar 1 memperlihatkan skema sebuah mesin implantasi. Implantasi ion adalah suatu proses penambahan unsur asing kedalam permukaan material sasaran dengan cara pengionan atom asing tersebut, dipercepat dalam tabung akselerator oleh medan listrik, pemfokusan dalam medan elektromagnet kemudian menembakkannya ke permukaan material target. Pada

proses implantasi ion, peningkatan kekerasan terjadi akibat paduan antara elemen asing dan substrat. Permukaan material dasar akan bereaksi dengan bahan yang diimplantasikan, dalam hal ini ion-ion yang berenergi tinggi akan dicangkokkan ke bahan padat dengan bantuan akselerator ion sehingga terjadi penyusupan ion dan terbentuk senyawa ion dopan dengan atom target yang keras. Pada implantasi ion, penggunaan energi tinggi (hingga 100 keV) akan menyebabkan ion target dapat menembus masuk ke bawah permukaan substrat karena energi ion target tersebut terdepositasi jauh dibawah permukaan substrat dan ion target tersebut terjebak didalam substrat



Gambar 1. Skema alat implantasi ion (1 = sumber tegangan tinggi, 2 = sumber ion tipe penning, 3 = penyangga terisolasi, 4 = landasan, 5 = tabung akselerator, 6 = lensa quadrupol, 7 = magnet analisator, 8 = penyapu berkas, 9 = pompa difusi, 10 = pompa rotari, dan 11 = target)

ii. Laju Korosi

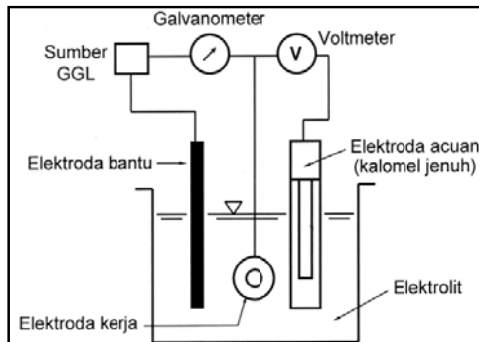
Pengujian laju korosi dengan tipe tiga sel elektroda didasarkan pada metode ekstrapolasi Tafel. Sel tiga elektroda adalah perangkat baku laboratorium untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan-bahan. Pengujian ini menggunakan tiga elektroda (Gambar 2) yaitu

- Elektroda kerja** (*working electrode*). Elektroda kerja sebagai elektroda yang akan diteliti, digunakan istilah elektroda kerja sebagai ganti dari anoda karena penelitiannya tidak terbatas hanya pada perilaku yang bersangkutan dengan anoda, tetapi juga penyelidikan tentang perilaku katoda.
- Elektroda bantu** (*counter / auxiliary electrode*). Elektroda pembantu adalah elektroda kedua yang khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Elektroda ini tidak digunakan untuk mengukur potensial. Platina, emas dan titanium dapat digunakan sebagai bahan elektroda pembantu.
- Elektroda acuan** (*reference electrode*). Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacu pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini kecil



sekali sehingga dapat diabaikan. Elektroda acuan yang sering digunakan adalah elektroda kalomel jenuh.

Ketiga elektroda tersebut dicelupkan ke dalam larutan elektrolit pada tabung elektrokimia dan terhubung dengan potensiostat/galvanostat. Proses korosi dimulai dengan pemberian potensial pada elektroda kerja dari -1300 mV sampai dengan 1300 mV.



Gambar 2. Alat uji korosi tipe sel tiga elektroda [6]

Laju korosi dapat dicari dengan rumus:

$$R = 0,129 \frac{I_{cor} \cdot E_w}{\rho} \quad (1)$$

dengan R = laju korosi (mpy), I_{cor} = arus korosi ($\mu A/cm^2$), E_w = berat ekuivalen spesimen, dan ρ = kerapatan spesimen (g/cm^3).

iii. Kekerasan

Pengujian kekerasan lapisan permukaan spesimen dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Vickers dengan indentor dari bahan intan berbentuk kerucut. Permukaan spesimen terlebih dahulu dibuat rata dan halus sebelum diuji. Permukaan atas dan bawah spesimen harus sejajar agar didapat hasil pengukuran kekerasan lebih presisi. Uji Vickers dilakukan terhadap spesimen yang tidak mendapat lapisan (*raw material*) dan spesimen yang telah diberi lapisan Cr atau CrN. Beban indentasi yang digunakan sebesar 10 gram. Kekerasan Vickers (VHN) permukaan bahan dicari dengan rumus:

$$VHN (kg/mm^2) = \frac{1,854 F}{D^2} \quad (2)$$

dengan F = beban indentasi (kg) dan D = panjang diagonal bekas injakan indentor (mm).

4. Pelaksanaan Penelitian

i. Bahan. Bahan utama yang digunakan adalah:

- a. Bahan berupa potongan-potongan baja AISI 4140 berbentuk koin dengan diameter 14 mm dan tebal

3 mm

- b. Serbuk Cr_2O_3 sebagai bahan sumber Cr dan gas nitrogen (N_2)
- c. Larutan 0,5 % NaCl dan aquades

ii. Peralatan

- a. Mesin implantor yang dilengkapi dengan pompa rotari, pompa difusi, sistem kontrol vakum, kontrol aliran gas, kontrol suhu, sumber tegangan DC, sistem pendingin dan regulator tekanan gas.
- b. Alat uji korosi jenis potensiostat/galvanostat dengan rentang tegangan - 2000 mV s/d 2000 mV.
- c. Alat uji kekerasan Vickers.
- d. Alat uji SEM (Scanning Electron Microscopy)

iii. Metode Penelitian

Lapisan implantasi Cr pada permukaan substrat diperoleh dengan bantuan mesin implantor. Ion Cr diimplantasikan pada energi 100 keV dan arus berkas 10 mA dengan lama implantasi 45, 60, 75, 90, 120 dan 150 menit. Lapisan implantasi CrN diperoleh dengan melakukan implantasi lagi terhadap spesimen yang telah mendapat lapisan Cr sebelumnya.

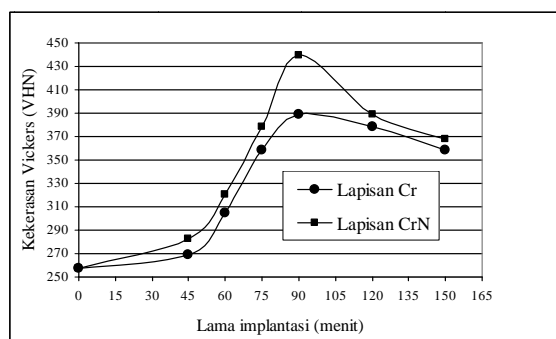
Uji laju korosi spesimen tanpa lapisan (*raw material*) dan spesimen yang telah diberi lapisan dilakukan dengan menggunakan rangkaian tiga sel elektroda seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Arus korosi (I_{cor}) yang timbul pada rangkaian tiga sel elektroda dapat langsung dibaca pada alat ukur arus yang terdapat pada rangkaian. Laju korosi dapat dihitung berdasarkan persamaan (1). Dan kekerasan permukaan spesimen dapat dihitung dengan menggunakan rumus kekerasan Vickers berdasarkan persamaan (2).

5. Hasil Penelitian dan Pembahasan

i. Hasil Uji Kekerasan

Kekerasan rata-rata dari *raw material* (tanpa lapisan) adalah sebesar 257 VHN, sedang distribusi kekerasan permukaan setelah diberi lapisan Cr atau CrN diterlihatkan pada Gambar 3. Kekerasan maksimum permukaan yang diberi lapisan Cr adalah 389 VHN, sedangkan lapisan CrN menghasilkan kekerasan maksimum 439 VHN untuk lama implantasi 90 menit. Lapisan Cr dan CrN memberi kenaikan signifikan dari kekerasan permukaan spesimen. Gambar 3 memperlihatkan bahwa lapisan CrN menghasilkan kekerasan lebih tinggi dari lapisan Cr pada permukaan baja AISI 4140. Kekerasan lapisan Cr dan CrN mengalami kenaikan bila lama implantasi naik sampai 90 menit, dan selanjutnya kekerasan ini mengalami penurunan jika lama implantasi lebih besar dari 90 menit.





Gambar 3. Pengaruh lama implantasi terhadap kekerasan Vickers

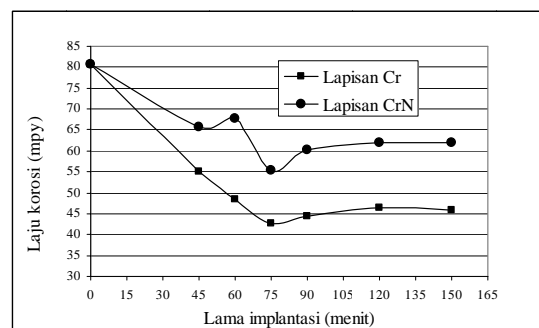
Peningkatan waktu implantasi menyebabkan terjadinya peningkatan dosis ion, dimana peningkatan dosis ion yang diberikan akan mengakibatkan tumbukan-tumbukan ion semakin banyak. Lamanya waktu implantasi juga menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur akibat dari tumbukan-tumbukan ion-ion dopan yang membuat jarak atom Fe bergeser atau terpelebar dari posisi awal. Hal ini menyebabkan semakin renggangnya jarak atom Fe sehingga ion dopan dapat menyisip diantara atom-atom Fe dan menempati ruang antar atom Fe yang telah bergeser. Energi implantasi sebesar 100 keV juga menentukan jumlah kekosongan dan sisipan ion yang terbentuk. Semakin tinggi energi ion dopan maka kemampuan ion untuk menggeser dan mendesak atom-atom material target akan semakin besar sehingga energi implantasi ion Cr yang besar mempunyai kesempatan untuk ion Cr terdifusi lebih dalam pada permukaan material. Masuknya Cr dalam struktur ikatan atom Fe menyebabkan kerapatan antar atom meningkat sehingga kekerasan material semakin tinggi pada permukaan material. Unsur *nitrogen* (N) yang diimplantasikan setelah Cr pada waktu implantasi 45 menit sampai 90 menit juga meningkatkan kekerasan. Energi ion N sebesar 100 keV mampu menumbuk ion Cr sehingga ion Cr lebih banyak terdifusi kedalam Fe dan ion N juga mampu menembus lapisan Cr dipermukaan material target [4]. Akibat dari proses implantasi ion N ini terbentuk lapisan baru pada permukaan material target yang membentuk senyawa fasa kedua yaitu *chromium nitrida* [3]. Ukuran atom N yang lebih kecil dibandingkan atom Cr dan Fe juga mempermudah terjadinya penyisipan atom N pada susunan struktur atom hingga dapat memperbaiki dislokasi pada struktur kristal [7].

Peningkatan waktu diatas 90 menit, mengakibatkan penurunan kekerasan permukaan. Hal ini disebabkan fasa keras yang terbentuk dapat rusak menjadi fasa *amorphous* yang tidak teratur [8]. Ikatan atom antara Fe-Cr dan Cr-N tidak lagi dapat terbentuk akibat dari atom Cr yang tidak lagi mampu mengisi secara sisipan dan

tidak terdapat lagi ruang kosong pada ruang antar atom, sehingga terjadi penumpukan unsur Cr dan N dipermukaan material dan terbentuknya lapisan jenuh baru yang berupa penumpukan ion N diatas lapisan CrN.

ii. Hasil Uji Korosi

Gambar 4 menunjukkan distribusi laju korosi lapisan Cr dan CrN pada permukaan baja AISI 4140. Laju korosi material yang telah diberi lapisan Cr atau CrN lebih rendah dari material yang tidak diberi lapisan (*raw material*). Secara umum, lapisan CrN memiliki laju korosi lebih rendah dari lapisan Cr. Laju korosi untuk kedua lapisan Cr dan CrN menurun jika lama implantasi naik sampai 75 menit, dan laju korosi ini hampir konstan bila lama implantasi lebih tinggi dari 75 menit. Kondisi ini terjadi karena penambahan ion yang terus menerus akan menyebabkan penumpukan ion pada permukaan material.



Gambar 4. Pengaruh lama implantasi terhadap laju korosi lapisan permukaan

Penumpukan ini membentuk lapisan tipis *amorphous* yang diikuti penurunan laju korosi. Laju korosi terendah untuk lapisan CrN dan lapisan Cr berturut-turut adalah 42,80 mpy dan 55,20 mpy dengan lama implantasi 75 menit. Jadi lama implantasi optimum untuk mendapatkan laju korosi minimum adalah 75 menit untuk arus implantasi 10 μ A dan energi implantasi 100 keV.

5. Kesimpulan

- Lapisan implantasi Cr atau CrN pada permukaan baja AISI 4140 akan menurunkan laju korosi tetapi meningkatkan kekerasan permukaan secara signifikan. Secara umum, kekerasan lapisan CrN lebih tinggi dari kekerasan lapisan Cr, tetapi sebaliknya lapisan CrN ini memiliki laju korosi lebih rendah.
- Kekerasan Vickers tertinggi lapisan implantasi CrN dan Cr secara berurutan adalah 439 kg/mm² dan 389 kg/cm² dengan lama implantasi 90 menit. Laju korosi terendah lapisan CrN dan Cr secara berurutan adalah 82,80 mpy dan 55,20 mpy dengan lama implantasi 75 menit. Lama implantasi optimum untuk mendapatkan



kekerasan tertinggi dari kedua lapisan adalah 90 menit, sedang lama optimum untuk menghasilkan laju korosi terendah 75 menit

Daftar Pustaka

- [1] Bayon, R., Igartua, A., Fernandez, X., Martinez, R., *Corrosion-wear behaviour of PVD Cr/CrN Multilayer Coatings for Gear Applications*, Tribology International, Elsevier, 2008.
- [2] Zhou, F., Chen, K., Wang, M., Xu, X., *Friction and Wear Properties of CrN Coating Sliding against Si₃N₄ balls in Water and Air*, Wear, Vol. 265, Issues 7-8, p. 1029-1037, Elsevier, 2008
- [3] Kim B., Lee S., Kim, K., *Enhancement of Mechanical Properties of High Chromium Steel by Nitrogen Ion Implantation*, Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2006.
- [4] Gomes, G.F., Ueda, M., Reuther, H., *Chromium Recoil Implantation Into SAE 1020 Steel by Nitrogen Ion Bombardement*, Brazilian Journal of Physics, Vol. 34, no. 4B, 2004.
- [5] Zulhanif, *Pengaruh Implantasi Ion Chromium terhadap Ketahanan Fatik Baja Karbon Rendah*, Tesis Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.
- [6] Tretheway, K.R., Chamberlain, J., *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, Terjemahan PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- [7] Shokouhy, A., Ghoranneviss, M., Sari, H., *N⁺ Ion Implantation Effects on Microhardness properties of Stainless steel 52100*, Plasma Physics Research Center, Iran, 2004.
- [8] Shen, L.R., Wang, K., Tie, J., Tong, H.H., *Modification of High-Chromium Cast Iron Alloy by N and Ti Ion Implantation*, Surface & Coating Technology, p. 349-352 Elsevier, 2004.
- [9] Machnikova, E., Pazderova, M., *Corrosion Study of PVD Coating and Conductive Polimer Deposited on Mild Steel*, Surface & Coating Technology, p. 1543-1550, Elsevier, 2007.



