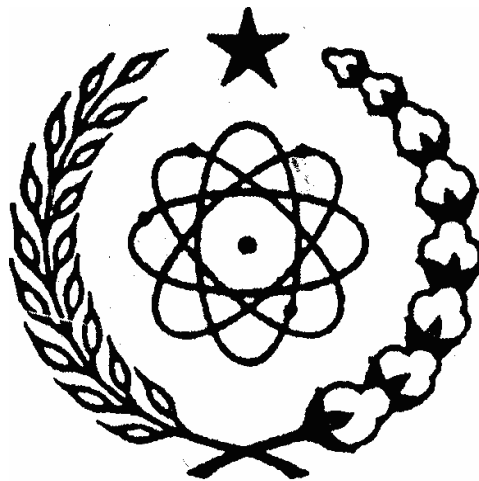


ISSN 0216-3128

PROSIDING

PERTEMUAN DAN PRESENTASI ILMIAH PENELITIAN DASAR ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI NUKLIR

Yogyakarta, 12 Juli 2005



BUKU I

FISIKA, REAKTOR NUKLIR

Diterbitkan oleh

Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Maju

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB, Telp. (0274) 488435, 489762,

Faks. (0274) 487824, e-mail: p3tm@batan.go.id

JOGJAKARTA-INDONESIA

EFEK IMPLANTASI ION TEMBAGA TERHADAP SIFAT KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK DALAM MEDIA ASAM KHLORIDA

Abbas Ali A Habib
Jurusan Fisika, Fakultas MIPA-UGM

Prayoto
Fakultas MIPA, UGM

Pramudita Anggraita
BATAN-Jakarta

ABSTRAK

EFEK IMPLANTASI ION TEMBAGA TERHADAP SIFAT KETAHANAN KOROSI BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK DALAM MEDIA ASAM KHLORIDA. Telah dilakukan implantasi pada permukaan stainless steel 304 dan 316 dengan ion tembaga pada dosis bervariasi dari 0.212×10^{17} ion/cm² sampai 4.029×10^{17} ion/cm². Proses doping dilakukan dengan menggunakan mesin implantasi ion pada energi 100 keV. Pengujian korosi dilakukan pada sample yang telah diimplantasi dengan menggunakan alat potensiostat/Galvanostat PGS 201 dalam media asam klorida (HCl 0.005 M). Dari hasil uji yang telah diperoleh menunjukkan bahwa SS 304 yang diimplantasi dengan dosis 1.697×10^{17} ion/cm² mampu memperlambat laju korosi sampai 7.243 kali terhadap SS 304 yang tak diimplantasi, yaitu dari 16.22 mpy menjadi 2.24 mpy. Sedangkan, untuk SS 316 yang diimplantasi dengan dosis 1.606×10^{17} ion/cm² mampu memperlambat laju korosi sampai 2.418 kali terhadap SS 316 yang tak diimplantasi, yaitu dari 13.97 mpy menjadi 5.78 mpy

Kata kunci: implantasi, korosi, tembaga

ABSTRACT

THE EFFECTS OF COPPER ION IMPLANTED ON THE CORROSION RESISTANCE OF STAINLESS STEEL IN CHLORIDE ACID MEDIA. Implantation has been done onto 304 and 316 stainless steel with copper ion at varied dose from 0.212×10^{17} ion/cm² to 4.029×10^{17} ion/cm². The doping process was done using ion implantation at energy 100 keV. The corrosion test was done on the implanted sample using potensiostat/Galvanostat PGS 201 instrument in the chloride acid media (HCL 0.005 M). The result test show that the implanted SS 304 dose 1.697×10^{17} ion/cm² is able to decrease the corrosion rates up to 7.243 times on the non-implanted SS 304, from 16.22 mpy into 2.24 mpy. On the other hand, the implanted SS 316 dose 1.606×10^{17} ion/cm² is able to decrease the corrosion rate up to 2.418 times on the non-implanted SS 316, from 13.97 mpy into 5.78 mpy.

Keyworld: Implantation, corrosion, copper

LATAR BELAKANG

Korosi merupakan suatu fenomena yang terutama terjadi pada permukaan suatu bahan. Sebagai akibatnya, teknik modifikasi permukaan, seperti misalnya implantasi ion, merupakan salah satu metode untuk memperbaiki sifat korosi suatu bahan (Ensinger dan Wolf, 1994).

Para peneliti telah melakukan implantasi pada baja, baja tahan karat, dan paduan (*alloy*) berbasis-besi dengan ion yang berbeda-beda dalam usaha untuk meningkatkan ketahanan bahan-tersebut terhadap korosi. Karena ketahanan korosi merupakan suatu sifat intensif permukaan, maka

implantasi ion merupakan cara yang ideal dalam penyelidikan ini. Proses implantasi ion memodifikasi hanya bagian substrat yang paling luar (0,1 - 0,3 μ m untuk ion-ion yang dipercepat hingga 200 keV atau kurang), sedangkan bahan keseluruhan (*bulk material*) tetap tak berubah. Selain itu, kemampuan untuk secara ketat mengontrol dan mereproduksi dosis ion serta kedalaman penetrasi menjadikan implantasi ion sebagai suatu proses pembuatan paduan logam yang eksak (Cooney dan Potter, 1993).

Selama proses implantasi ion, atom-atom atau molekul-molekul diionkan, dipercepat dalam

suatu medan elektrostatis, dan terimplantasi ke dalam suatu padatan (*solid*). Hampir semua kombinasi ion (Z_1, m_1) dan target (Z_2, m_2) dapat digunakan. Besarnya energi akselerasi (percepatan) berkisar antara beberapa ribu elektron volt (keV) hingga beberapa juta elektron volt (MeV). Kedalaman penetrasi ion bukan hanya bergantung pada energi, namun juga bergantung pada massa ion dan massa atom bahan target (Rysseldan Ruge, 1986)

Menurut sifatnya, proses implantasi pada dasarnya tidak bergantung pada batas solubilitas (daya kelarutan) kimia, suhu selama implantasi, dan konsentrasi dopan pada permukaan bahan. Atom doping (*doping atoms*) yang dimasukkan memiliki suatu profil konsentrasi yang pada umumnya dijelaskan oleh suatu distribusi Gaussian, dengan suatu kisaran (*range*) rerata terproyeksi R_p dan simpangan baku σR_p .

Implantasi ion memberikan beberapa keuntungan teknologi yang penting untuk memodifikasi permukaan bahan

- Kecepatan, homogenitas, dan kemampuan reproduksi proses *doping*.
- Kemampuan kontrol yang tepat jumlah atom-atom *doping* yang dimasukkan dengan mengukur arus berkas ion yang penting khususnya untuk konsentrasi rendah.
- Mempunyai kemurnian yang tinggi pada bahan yang diimplantasikan khususnya bila digunakan pemisah massa.
- Penghindaran suhu pemrosesan yang tinggi selama implantasi.

Baja tahan karat yang lebih dikenal dengan *stainless steel* (SS) adalah paduan besi yang ketahanannya terhadap korosi adalah karena terbentuknya lapisan pelindung krom-oksida Cr_2O_3 atau CrO_4 yang stabil sehingga permukaan logam bersifat pasif. Tersedianya oksigen dan kandungan krom dengan kadar sedikitnya 11% dalam bahan pengikat diperlukan untuk mempertahankan keberadaan selaput permukaan itu, yang mampu memperbaiki diri sendiri bila berada dalam suhu kamar. Jika selaput pelindung tidak diperbaiki sesudah mengalami kerusakan, dalam lingkungan manapun korosi *stainless steel* akan cepat sekali.

Korosi utama yang dialami *stainless steel* adalah korosi celah (*crevice corrosion*) dan korosi sumuran (*pitting corrosion*). Kandungan karbon yang terlalu tinggi ($> 0,03$ persen) dapat mengganggu perilaku korosi *stainless steel* akibat pengumpulan kromium karbida yang menyebabkan kadar krom di beberapa tempat pada bahan pengikat kurang dari batas minimum untuk mempertahankan selaput oksida, daerah yang tidak mempunyai lapisan krom oksida akan

bertindak sebagai anode dalam sel korosi sedangkan yang masih ditutup selaput oksida menjadi katode. Selain itu logam-logam seperti *stainless steel* yang sistem perlingkungannya bergantung pada pembentukan selaput pasif diketahui tidak mantap dalam lingkungan ion-ion klorida yang sangat agresif menyerang selaput kromium-oksida.

Pada penelitian ini akan digunakan *stainless steel* austenitik tipe 304 dan 316 yang diimplantasi ion tembaga Cu. *Stainless steel* 304 low carbon mempunyai komposisi dalam % berat (Harsono dan Okumura, 1984) 18%/20% Cr, 8%/10.5%Ni, 0,08%C, 2,0% Mn, 0,045% P, 0,03% S, 1,0% Si dan sisanya Fe sebagai penyeimbang (*balance*). Sedangkan tipe 316 mempunyai komposisi 16%/18% Cr, Ni 10%/14%, 0,08%C, 2%/3% Mo, 2%Mn, 0,045% P, 0,03% S, 1,0% dan sisanya Fe sebagai penyeimbang (*balance*).

Jenis baja-baja yang disebut di atas cukup tahan terhadap korosi. Akan tetapi pada kondisi tertentu misalnya kondisi lingkungan korosif seperti nitrat dan klorida masih dapat terkena serangan korosi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan lapisan pelindung yang tahan terhadap korosi, dan menguji pengaruh dosis ion yang ditembakkan terhadap korosi *stainless steel* yang diimplantasi dengan ion tembaga Cu. Dari hasil litbang ini diharapkan dapat dibuat bahan unggul dengan teknik implantasi ion yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi.

LANDASAN TEORI

Implantasi Ion

Implantasi ion adalah suatu metode untuk menempatkan atom ke dalam bahan dengan cara pengionan atom-atom, percepatan dalam medan listrik dengan energi tinggi dan penembakan ke permukaan bahan. Selama proses implantasi, ion-ion akan berinteraksi dan bertumbukan dengan elektron-elektron dan inti target, sehingga ion-ion yang diimplantasikan akan kehilangan energi dan akhirnya berhenti pada jarak tertentu. Proses pencangkakan ion-ion ini akan dapat mengubah komposisi dan struktur suatu bahan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil implantasi ion sesuai yang diharapkan adalah: efek refleksi, efek sputer, efek difusi, kerusakan radiasi, kedalaman jangkauan, energi ion dopan dan massa atom dopan. Pada bagian berikut akan dijelaskan secara singkat pengertian dan pengaruh masing-masing efek.

Efek Refleksi Ion

Efek refleksi merupakan pantulan ion-ion yang diimplantasikan ke arah semula. Efek ini terjadi bila ion mempunyai massa lebih kecil dari massa atom target. Efek refleksi dapat mencapai 30% dari ion yang diimplantasikan (Davies dan Howe, 1978). Efek refleksi akan menjadi kecil bila ion mempunyai massa lebih besar dari massa atom target. Efek ini akan lebih besar lagi jika arah berkas ion yang datang tidak tegak lurus.

Efek Sputer Atom Target

Efek sputer adalah peristiwa terhamburnya atom-atom permukaan target setelah ditumbuk ion-ion yang mempunyai energi pental melebihi energi ikat permukaan (2-5 eV). Sputer akan merusak permukaan target. Besar kecilnya kerusakan dinyatakan dengan rasio sputer yaitu jumlah atom-atom target yang dihamburkan per ion yang menumbuknya, besar kecilnya nilai rasio sputer dipengaruhi oleh massa ion dan massa atom target. Semakin besar massa atom ion semakin besar rasio sputernya. Rasio sputer juga dipengaruhi oleh energi ion. Semakin tinggi energi ion yang mengenai target, rasio sputernya menurun. Sudut datang ion dapat pula mempengaruhi rasio sputer. Semakin besar sudut datang ion semakin besar rasio sputernya.

Efek Difusi

Apabila suhu pada suatu material naik, akan menyebabkan atom-atomnya bergetar dengan energi yang lebih besar dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi, proses ini disebut difusi.

Mekanisme perpindahan atom dalam suatu logam dapat terjadi secara interstisi dan kekosongan. Perpindahan secara interstisi terjadi bila atom tidak memiliki ukuran yang sama. Sedangkan perpindahan secara kekosongan dapat terjadi bila semua atom memiliki ukuran sama. Difusi dapat terjadi lebih cepat bila (1) suhu tinggi, (2) atom yang berdifusi kecil, (3) ikatan struktur induk lemah (dengan titik cair rendah), (4) terdapat cacat-cacat dalam bahan (kekosongan atau batas butir).

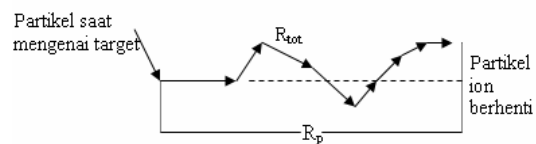
Kerusakan Radiasi

Dalam teknik implantasi ion, berkas ion berenergi tinggi yang ditembakkan pada permukaan bahan dapat merusak struktur bahan tersebut. Atom-atom target yang didesak oleh ion-ion akan mendesak atom-atom target tetangganya, sehingga akan mengakibatkan kerusakan struktur atom-atom target (Dresselhaus dan Klash, 1992). Rusaknya atom target disebabkan oleh berkas ion itu disebut kerusakan radiasi (*radiation damage*). kerusakan radiasi ini terjadi akibat tumbukan

antara ion-ion yang berenergi tinggi dengan material target, sehingga dapat menyebabkan bergesernya atau terpentalnya atom-atom target. Atom-atom yang pertama kali bergeser atau terpentel ini akan dapat menumbuk atom-atom berikutnya. Bila energi cukup, maka akan dapat menggeser atau mementalkan atom-atom target lainnya. Akibat tumbukan yang terus menerus ini dan setiap kali tumbukan akan kehilangan energi, maka pada suatu saat atom-atom itu akan kehabisan energi akhirnya berhenti menempati ruang kosong antara atom-atom target. Demikian juga, ion-ion yang masuk ke dalam target akan mengalami kehilangan energi, akhirnya berhenti menempati ruang kisi antara kerapatan atom-atomnya bertambah akan dapat meningkatkan ketahanan korosi material tersebut

Jangkauan Ion

Sebuah ion yang diimplantasikan akan mengalami hamburan oleh elektron dan inti di dalam target. Tenaga ion mengalami kemerosotan hingga ion berhenti. Jarak total yang ditempuh ion dalam material disebut jangkauan R_{tot} . Tempat berhentinya ion yang khas pada jarak normal dari permukaan dinamakan jangkauan terproyeksi (R_p). Bentuk lintasan ion dalam suatu material dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lintasan ion material target (Olender, 1976).

Dosis Ion yang Diimplantasikan

Dosis ion didefinisikan sebagai jumlah ion yang diimplantasikan ke dalam bahan per satuan luas tingkap. Ditinjau berkas ion dengan massa m yang digerakan oleh energi E di dalam tabung pemercepat memasuki target. Berkas sapuan dibatasi oleh tingkap dengan luas A . Di belakang tingkap, target ditempatkan pada logam pemegang target yang dihubungkan dengan integrator muatan

Jumlah ion yang diimplantasikan C_s dapat dihitung dari besarnya arus ion I , luas berkas A dan waktu implantasi t . dosis ion dopan dapat dituliskan:

$$C_s = \frac{It}{eA} \quad (1)$$

dengan e = muatan electron ($1,602 \times 10^{-19}$ coulomb)

Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Terthwey dan Chamberlain, 1991), dan berlangsung secara perlahan-lahan tapi pasti. Tidak ada bahan atau peralatan yang dapat terhindar dari proses korosi, semuanya dalam jangka waktu tertentu akan rusak karena korosi. Manusia hanya berupaya mengendalikan sehingga bahan yang terbuat dari logam tersebut mempunyai masa pakai lebih panjang.

Sebagian besar logam terdapat di alam dalam bentuk kombinasi seperti misalnya oksida, hidroksida, karbonat, sulfida, sulfat, dan silikat. Ekstraksi logam dari bijih-bijih logam memerlukan jumlah energi yang besar. Oleh karena itu, logam-logam yang terisolasi dapat dipandang berada di dalam tingkatan (*state*) energi yang jauh lebih tinggi dibandingkan bijih-bijihnya, dan logam-logam terisolasi itu menunjukkan kecendrungan alamiah untuk kembali ke tingkat energi yang lebih rendah atau *combined state*. Oleh karena itu, korosi logam dapat dipandang sebagai proses kebalikan dari proses pereduksian logam dari bijihnya (Jastrzebski, 1987).

Kinetika Reaksi-Reaksi Korosi

Sepotong logam yang ditempatkan dalam sebuah elektrolit dapat bertindak sebagai anode, katode dan penghubung listrik sendiri. Setiap bagian logam dapat menjadi anode bagi bagian yang lain akibat adanya variasi dalam struktur pada logam, atau adanya lingkungan-lingkungan berlainan di permukaan.

Anode adalah bagian dari permukaan logam yang terkorosi, dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan



Reaksi yang menyebabkan suatu atom kehilangan elektron disebut reaksi oksidasi. Katode adalah bagian dari permukaan logam yang tidak terkorosi, tetapi merupakan bagian penting untuk terjadinya reaksi elektrokimia dalam proses korosi. Elektron yang tertinggal di dalam logam di daerah anode bergerak ke daerah katode dan akan bereaksi dengan ion yang ada di dalam larutan. Reaksi yang mengikat elektron disebut reduksi.

Ukuran ketahanan suatu bahan terhadap korosi ditunjukkan dengan laju korosinya. Suatu laju korosi dinyatakan dengan mili inci per tahun (mpy). Rumus untuk menentukan besarnya laju korosi adalah

$$v = \frac{0,13 i_{kor} BE}{d} \quad (2)$$

v laju korosi dalam satuan mili inci per tahun, i_{kor} kerapatan arus dalam satuan $\mu A/cm^2$, BE berat ekuivalen dari spesimen dalam gram/ekuivalen dan d berat jenis spesimen dalam satuan gram/cm³.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. keeping baja *stainless steel* tipe 304 dan 316
2. tembaga
3. amplexas
4. pasta intan
5. alcohol

Alat penelitian

peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari peralatan untuk implantasi ion dan prangkat untuk menguji korosi

Alat implantasi ion

mesin implantasi ion terdiri dari generator tegangan tinggi yang bekerja untuk menghasilkan elektron dengan kecepatan yang tinggi. Elektron yang dipercepat ini digunakan untuk mengionisasi ion dopan. Ion-ion positif yang dihasilkan oleh sumber ion ditarik oleh tegangan ekstraktor negatif sehingga keluar dari tabung sumber ion melalui lubang sempit. Muatan-muatan yang ditarik keluar difokuskan dengan tegangan pemokus sehingga masuk dalam tabung akselerator yang dilengkapi dengan banyak elektrode dengan tenaga yang makin negatif. Akselerator selalu diusahakan bekerja pada kondisi vakum (10^{-5} - 10^{-6} mmHg) untuk menjaga jangan sampai ion dopan bertumbukan dengan partikel-partikel lain. Seterusnya akselerator dihubungkan dengan lensa kuadropol untuk mengatur pemfokusan berkas ion menjadi suatu titik.

Jalan penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan yang meliputi implantasi dan uji korositas

Persiapan

Stainless steel tipe 304 dan 316 dipotong bulat menggunakan mesin pemotong logam

dengan diameter 1.4 cm kemudian pemolesan benda uji dilakukan dengan menggosok permukaan dengan kertas *abrasive* 600, 800, 1000, 1500 mesh. Sesudah diampas dipoles dengan menggunakan pasta intan pada kain beludru, sehingga diperoleh permukaan yang betul-betul halus dan mengkilap seperti cermin. Sesudah proses penghalusan selesai, dilanjutkan proses pencucian dengan memasukkan cuplikan ke dalam gelas beker 200 ml yang sudah diisi dengan alkohol 90%, kemudian gelas beker dimasukkan ke dalam pencuci ultrasonic (*ultrasonic cleaner*) yang telah diisi air suling 1 liter selama 1 jam untuk menghilangkan kotoran dan lemak pada benda uji.

Proses Implantasi Ion

Proses implantasi ion tembaga dilakukan menggunakan akselerator implantasi ion 150 keV/2mA rakitan P3TM-BATAN. Dalam pelaksanaan implantasi ion tembaga dosis ion divariasi dengan cara mengubah lamanya proses implantasi sedangkan energi dan arus dipertahankan sebesar 100 keV dan 10 μ A.

Uji Korosi

Uji korosi dilakukan dengan alat Potensiostat/Galvanostat PGS 201 T milik P3TM-BATAN. Sampel uji *stainless steel* 304 dan 316 baik yang diimplantasi maupun yang tidak

diimplantasi diuji dalam media asam klorida. Hasil keluaran berupa kurva tafel potensial lawan log intensitas arus, informasi yang diperoleh adalah kerapatan arus korosi yang akan digunakan untuk menghitung laju korosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Data Dosis Ion Tembaga

Dalam penelitian variasi dosis ion diperoleh dengan memvariasi lamanya proses implantasi ion (t), sedangkan besaran arus ion (I) dibuat tetap. Dosis ion dihitung menggunakan persamaan (1).

Hasil Uji Korosi

Uji korosi dilakukan dengan menggunakan Potensistat/Galvanostat PGS 201 T terhadap target *stainless steel* tipe 304 dan 316 dalam media asam klorida (0.005 M) dengan variasi ion tembaga.

Informasi yang diperoleh dari hasil uji korosi adalah besarnya rapat arus korosi (i_{kor}) dari tiap target, dari hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung laju korosi dalam milinchi per tahun dengan menggunakan persamaan 2 yang dapat disajikan pada Table 1 dan Table 2.

Tabel 1. Hasil uji korosi untuk SS 304 diimplantasi Cu dalam medium HCl 0,005 M

NO	Energi (keV)	Dosis ion ($\times 10^{17}$ ion/cm ²)	E_{cor} (mV)	I_{cor} (μ A/cm ²)	Laju korosi (mpy)
1	-	Non Implat	-462.2	39.55	16.22
2	100	0.424	-540.0	30.81	12.64
3	100	0.848	-509.3	33.67	13.81
4	100	1.272	-605.7	22.24	9.12
5	100	1.697	-792.5	5.46	2.24
6	100	2.121	-461.9	27.67	11.35
7	100	2.545	-476.4	30.11	12.35
8	100	2.969	-493.8	19.20	7.88
9	100	3.393	-599.8	20.42	8.37
10	100	3.817	-546.3	25.15	10.32
11	100	4.242	-463.5	18.45	7.57

Tabel 2. Hasil uji korosi untuk SS 316 diimplantasi Cu dalam medium HCl 0,005 M

NO	Energi (keV)	Dosis ion ($\times 10^{17}$ ion/cm ²)	E_{cor} (mV)	I_{cor} (μ A/cm ²)	Laju korosi (mpy)
1	-	Non Implat	-458.1	33.98	13.97
2	100	0.212	-508.1	23.50	9.66
3	100	0.636	-607.5	26.42	10.86
4	100	1.606	-643.3	14.05	5.78
5	100	1.484	-498.1	27.28	11.22
6	100	1.909	-599.4	28.08	11.55
7	100	2.333	-563.0	21.88	8.99
8	100	2.757	-536.7	16.84	6.92
9	100	3.181	-586.7	19.48	8.01
10	100	3.605	-576.9	25.44	10.46
11	100	4.029	-580.6	31.45	12.93

Pembahasan

Dari data korosi yang disajikan pada Tabel 1 terlihat bahwa arus korosi i_{kor} untuk target *stainless steel* 304 yang tidak diimplantasi dengan ion tembaga dalam media asam khlorida (0.005 M) adalah sebesar $i_{kor} = 39.55 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dengan laju korosi 16.22 mpy. Hal ini berarti target *stainless steel* 304 dalam setahun akan terkorosi permukaannya sedalam 16.22 miliinci. Setelah mengalami proses implantasi ion tembaga dengan variasi dosis menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi dalam media asam khlorida (0.005 M) dibandingkan target *stainless steel* 304 yang tidak mengalami proses implantasi, dan nilai optimum dapat terjadi pada dosis 1.697×10^{17} ion/cm² yang mampu memperlambat laju korosi sampai 7.243 kali. Dari data uji korosi yang disajikan pada Tabel 2 untuk target *stainless steel* 316 yang tidak diimplantasi dengan ion tembaga dalam media pengkorosi asam khlorida (0.005 M) kerapatan arus korosinya sebesar $i_{kor} = 33.98 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dengan laju korosi 13.97 mpy. Artinya target *stainless steel* dalam setahun akan terkorosi permukaannya sedalam 13.97 miliinci. Setelah mengalami proses implantasi ion tembaga dengan variasi dosis menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi dalam media asam khlorida (0.005 M) dibandingkan target *stainless steel* 316 yang tidak mengalami proses implantasi, dan nilai optimum dapat terjadi pada dosis 1.606×10^{17} ion/cm² yang mampu memperlambat laju korosi sampai 2.418 kali. Dengan demikian efek implantasi ion tembaga pada target baik *stainless steel* 304 maupun *stainless steel* 316 mampu meningkatkan ketahanan korosi. Kenaikan ketahanan korosi yang ditandai dengan penurunan laju korosi dapat terjadi disebabkan dengan terbentuknya lapisan

pelindung yang stabil sehingga permukaan bersifat basif yang tidak mudah terkorosi.

KESIMPULAN

1. Ketahanan korosi baja tahan karat austenitic *stainless steel* tipe 304 yang mengalami proses implantasi ion tembaga menunjukkan peningkatan sebesar 7.243 dalam media pengkorosian asam khlorida (0.005 M), kondisi ini dicapai pada dosis ion 1.697×10^{17} ion/cm² dan energi 100 keV
2. Ketahanan korosi baja tahan karat austenitic *stainless steel* tipe 316 yang mengalami proses implantasi ion tembaga menunjukkan peningkatan sebesar 2.418 dalam media pengkorosian asam khlorida (0.005 M), kondisi ini dicapai pada dosis ion 1.060×10^{17} ion/cm² dan energi 100 keV

DAFTAR PUSTAKA

- Cooney, E.C. and Potter, D.I., 1993a, "Microstructural and Corrosive Interactions in Phosphorus Ion Implanted 316 Stainless steel-I. Alterations in Microstructure by Implantation", *Corrosion Science*, 34, 1991-2006.
- Davied, J.A. and Howe, L.M., 1978, "Basic Implantation Processes", *Electron and Ion Beam Science and Technology*, 8, 8-11.
- Dresselhaus, M.S. and Kalish, R., 1992, "Ion Implantation in Diamond, Graphite and Related Materials", Springer-Verlag, Berlin.

- Ensinger, W. and Wolf, G.K., 1994, "Electrochemical and Corrosion Protection Properties of Ion Implanted Thin Films", *Electrochimica Acta*. 39, 1159-1164.
- Jastrzebski, Z.D., 1987, "The Nature and Properties of Engineering Materials", 3ed, John Wiley & Sons, New York.
- Harsono, dan Okomora, T., 1984, "Teknologi Pengelasan Logam", PT. Pradaya Pramita, Jakarta
- Olander, D.R., 1976, "Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements", TID-26711-PI.
- Ryssel, H. and Ruge, I., 1986, "Ion Implantation", Johan Willey & Sons, New York.
- Trethewey, K.R. and Chamberlain, J., 1991, "Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

TANYA JAWAB

Ratmi H

- Mengapa untuk SS 304 mempunyai peningkatan korosi > dari SS 316 faktor apa saja yang berpengaruh terutama dari bahanya sendiri.
Koreksi: mohon dilihat lagi di literature satuan mpy yang benar mil inches/year bukan mili inch/year

Abbas All A Habib

- Setelah SS 304 diimplantasikan dengan ion tembaga ternyata mempunyai unjuk kerja lebih baik atau lebih tahan terhadap korosi karena terbentuknya lapisan pelindung yang lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan SS316

Suprpto

- Komposisi apa yang dapat menyebabkan laju korosi antara SS 304 dan SS 316 berbeda baik setelah diimplantasi maupun sebelum diimplantasi
- Dari hasil implantasi SS 304 pengaruh implantasi sangat significant mohon dijelaskan

Abbas All A Habib

- Komposisi SS 304 adalah 18%/20% Cr, 8%/10.5 Ni, 0.08 C, 2.0% Mn, 0.045% P, 0.03% S, 1%Si dan sisanya Fe. Komposisi SS 316: 16%/18% Cr, Ni 10%/14.5, 0.08C, 2%/3% Mo, 2.0% Mn, 0.045% P, 0.03% S, 1%Si jadi kalau kita lihat SS 316 mengandung Mo tapi SS 304 tidak.
- Setelah diimplantasi SS 304 dengan tembaga lebih tahan terhadap korosi dibanding SS 316 dan setelah diimplantasi dengan dosis 1.967×10^{17} dengan terbentuknya lapisan lebih stabil yang bersifat pasif yang tidak mudah terkorosi