

## PENGARUH WAKTU NITRIDASI TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA BAJA KARBON MEDIUM (AISI 1045)

Setyo Atmojo, Lely Susita RM, Ratmi Herlani  
Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

### ABSTRAK

*PENGARUH WAKTU NITRIDASI TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA BAJA KARBON MEDIUM AISI 1045. Telah dilakukan penelitian pengaruh waktu nitridasi terhadap ketahanan korosi baja karbon medium. Dalam pelaksanaan nitridasi sampel berukuran diameter 15 mm, tebal 2 mm ditempatkan dalam tabung kaca berdiameter 35 mm, dipanasi pada suhu 550°C, dialiri gas nitrogen dengan laju 100 cc/menit, lama waktu proses dibuat 20 jam dan 30 jam. Kemudian sampel diuji sifat ketahanan korosi dengan sel tiga elektroda dalam larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 mol. Dari percobaan diperoleh hasil, sampel baja karbon medium AISI 1045 tanpa dinitridasi diuji sifat ketahanan korosi diperoleh kerapatan arus korosi sebesar 17,6  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan sampel baja karbon yang masing-masing dinitridasi 20 jam dan 30 jam diperoleh kerapatan arus korosi 11,25  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan 9,91  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Dengan terjadinya penurunan arus korosi ini berarti dengan dinitridasi hingga 30 jam sifat ketahanan korosi bahan meningkat.*

**Kata Kunci :** nitridasi, korosi, baja karbon medium.

### ABSTRACT

*THE INFLUENCE OF NITRIDATION TIME ON THE CORROSION RESISTANCE OF AISI 1045 MEDIUM CARBON STEEL. It has been done research in the influence of nitridation time on the corrosion resistance of AISI 1045 medium carbon steel. For the implementation, specimen with 15 mm diameters, 2 mm thickness was put on glass tube with 35 mm diameters, heated at temperature 550 °C, introduced by nitrogen gas with flow rate 100 cc/minute for 20 hours and 30 hours, Specimen were tested their corrosion resistance properties using three electrode cells in 0.001 mole H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> media. It was found that for untreated specimen, the corrosion current was 17.6  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , while for nitrided specimen for 20 hours and 30 hours, the corrosion current were 11.25  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  and 9.91  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  respectively. By decreasing the corrosion current meant that nitriding process for 20 hours and 30 hours can improve the corrosion resistance of AISI 1045 medium carbon steel.*

**Key word :** nitridation, corrosion, carbon steel.

### PENDAHULUAN

**K**orosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam yang diakibatkan oleh reaksi elektro kimia. Pengaruh korosi sangat memberi beban bagi peradaban manusia, yang antara lain pemborosan sumber daya alam dan pemborosan keuangan. Kasus nyata bahwa korosi memboroskan sumber daya alam yaitu dari hasil perhitungan di Inggris bahwa setiap 90 detik satu ton baja diubah menjadi karat, dari aspek keuangan dapat diketahui bahwa kerugian akibat korosi di Inggris yang terjadi tahun 1971 mencapai sekitar 3,5 % dari *Gross National Product*. Di Amerika Serikat pada tahun 1992 kerugian langsung akibat korosi mencapai 5 % dari anggaran belanja negara. Sedangkan untuk Indonesia kerugian akibat korosi relatif lebih tinggi

dibandingkan dengan di Inggris atau Amerika Serikat karena faktor kelembaban relatif lebih tinggi serta penanganan korosi belum semaju di Amerika Serikat dan di Inggris.

Mengingat kerugian yang disebabkan oleh korosi sangat besar maka usaha menanggulangi korosi harus mendapat perhatian semua pihak antara lain perindustri, pemerintah dan masyarakat. Mengingat besarnya kerugian akibat korosi maka masalah korosi perlu ditangani dengan sungguh-sungguh. Oleh karena itu pengetahuan mengenai proses korosi terutama yang spesifik perlu dipahami, supaya dapat dicegah timbulnya kerusakan oleh proses korosi. Dalam banyak hal proses korosi tidak dapat dihindari tetapi dapat dikendalikan, sehingga suatu struktur dapat mempunyai masa pakai yang lebih panjang. Para perindustri mempunyai peran yang besar dalam

menanggulangi tingkat-tingkat korosi yang tidak perlu, perekayasa akan mencari lapisan penghalang atau cara lain untuk menghambat kerusakan atau hilangnya logam. Cara lain yang digunakan untuk proteksi korosi salah satunya adalah membuat paduan logam yang tahan terhadap korosi.

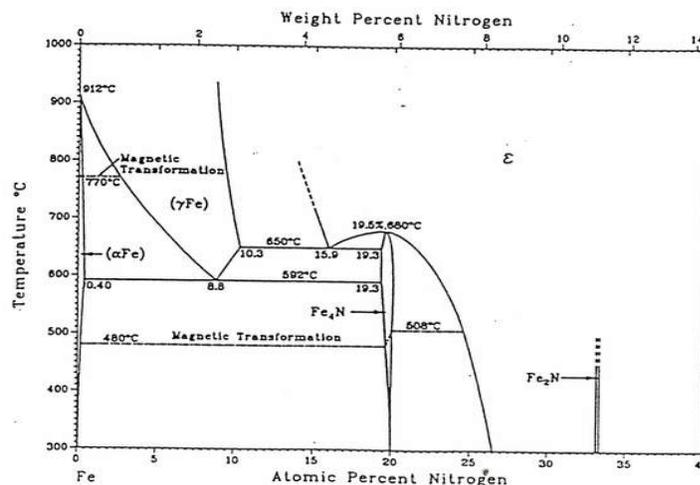
Tujuan penelitian dalam makalah ini adalah menyelidiki pengaruh waktu nitridasi terhadap perubahan ketahanan korosi permukaan baja karbon medium tipe AISI 1045 yang dinitridasi dengan sistem gas. Pengujian korosi dilakukan secara elektrokimia yaitu dengan cara pengukuran arus atau potensial korosi.

## DASAR TEORI

### Nitridasi

Nitridasi dengan proses thermal adalah pemanasan bahan sampai suhu 500 °C – 570 °C dalam lingkungan yang dapat menyerahkan atom

nitrogen lalu ditahan selama waktu tertentu; untuk nitridasi proses gas setelah proses tersebut didinginkan pelan-pelan, sedangkan untuk nitridasi proses cair perlu pendinginan kejut dengan air atau minyak. Dengan terjadinya pemanasan 550 °C–570 °C atom nitrogen berdifusi masuk kedalam atom logam besi (Fe) membentuk penguasan larut padat interstisi dan bila kelarutan tersebut telah jenuh maka secara perlahan-lahan akan terbentuk senyawa baru (fasa baru). Senyawa baru yang mula-mula terbentuk adalah  $Fe_4N$ ,  $Fe_3N$  dan selanjutnya  $Fe_2N$ . Kondisi terbentuknya berbagai macam fasa tersebut tergantung dari konsentrasi atom nitrogen (N) pada besi (Fe). Bila konsentrasi atom nitrogen telah mencapai sekitar 20 % atom maka fasa yang terbentuk adalah fasa  $Fe_4N$ , sedangkan bila konsentrasi telah mencapai sekitar 20% - 26,5% atom maka fasa yang terbentuk  $Fe_3N$ , fasa  $Fe_2N$  terbentuk bila konsentrasi atom nitrogen telah mencapai 33,59 % atom. Fasa  $Fe_2N$  tersebut sangat stabil pada temperatur tinggi, artinya tidak berubah fasa terhadap perubahan temperatur<sup>[1]</sup>. Hal ini dapat dilihat pada diagram fasa Fe-N seperti tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram fasa sistem Fe-N<sup>[2]</sup>.

### Difusi Atom

Untuk suatu bahan bila suhu naik, atom-atom bergetar dengan energi yang lebih besar, dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Energi yang diperlukan sebuah atom untuk pindah tempat disebut energi aktivasi yang dinyatakan dalam kalor/mol atau joule/atom atau sebagai eV/atom.

Bila suatu atom mempunyai cukup energi aktivasi dan mampu mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi baru maka proses tersebut disebut difusi<sup>[5]</sup>.

Mekanisme terjadinya difusi antara lain dengan kekosongan dan interstisi. Bila ukuran atom memiliki ukuran yang sama mekanisme kekosongan lebih menonjol; kekosongan terjadi sebagai struktur yang cacat atau akibat agitasi suhu.

Faktor yang mempengaruhi difusi disebut difusivitas,  $D$ , dalam persamaan matematika dapat ditulis sebagai berikut<sup>[5]</sup> :

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{Q}{RT} \quad (1)$$

dengan  $D_0$  = konstanta difusi ( $\text{m}^2/\text{sec}$ ).

$Q$  = energi aktivasi (joule/mol).

$R$  = konstanta gas (8,3 joule/mol).

$T$  = temperatur (K).

Pergerakan acak atom yang berdifusi akan diperoleh fluks atom. Fluks atom,  $J$ , (dinyatakan dalam  $\text{atom}/\text{m}^2\text{sec}$ ) sebanding dengan gradien konsentrasi  $(c_2 - c_1) / (x_2 - x_1)$ ; sesuai dengan hukum Fick I secara matematika dapat ditulis sebagai persamaan 2 :

$$J = -D \frac{dC}{dX} \quad (2)$$

dengan :  $J$  = fluks atom ( $\text{atom}/\text{m}^2\text{sec}$ )

$D$  = difusivitas ( $\text{m}^2/\text{sec}$ )

$C$  = konsentrasi atom ( $\text{atom}/\text{m}^3$ )

$X$  = jarak (m)

Tanda negatif berarti fluks bergerak berlawanan dengan arah gradien.

Bila waktu diperhitungkan maka akan didapat persamaan :

$$\frac{\text{Atom}}{\text{m}^2} = D t \left( -\frac{dC}{dX} \right) \quad (3)$$

dengan :  $D$  = difusivitas ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $t$  = waktu (s);  $C$  = konsentrasi atom ( $\text{atom}/\text{m}^3$ ),  $X$  = jarak (m).

Yang berarti jumlah atom yang masuk atau keluar suatu bahan melalui satuan luas dengan suatu gradien konsentrasi tertentu sebanding dengan waktu dikalikan difusivitas.

Dengan menurunkan persamaan hukum Fick II :

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D \left( \frac{\delta^2 C}{\delta X^2} \right) \quad (4)$$

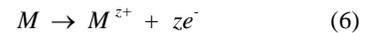
maka didapat hubungan sebagai berikut:

$$X \propto \sqrt{Dt} \quad (5)$$

Yang berarti tebal lapisan sebanding dengan faktor difusivitas dikalikan waktu. Besarnya  $\delta C/\delta t$  dan  $\delta^2 C/\delta X^2$  ditentukan dari eksperimen.

### Korosi

Korosi adalah penurunan kualitas suatu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Ketika atom logam mengalami suatu reaksi korosi atom itu diubah menjadi ion melalui reaksi dengan suatu unsur yang terdapat di lingkungannya. Persamaan reaksi korosi untuk suatu logam  $M$  dapat ditulis melalui persamaan berikut<sup>[3]</sup> :



Bilangan  $z$  adalah valensi dari atom logam tersebut.

### Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan elektrokimia. Hukum Farady untuk elektrolisis menyatakan<sup>[3]</sup> :

$$Q = z \cdot F \cdot M \quad (7)$$

dengan :  $Q$  = muatan yang terbentuk akibat ionisasi  $M$  mol bahan;  $z$  = jumlah elektron yang dipindahkan dalam reaksi korosi (untuk besi  $z = 2$ );  $F$  = muatan yang dipindahkan oleh 1 mol elektron, harganya 96494 coulomb/mol.

Bila hubungan tersebut diatas didiferensialkan terhadap waktu dengan menganggap  $z$  dan  $F$  konstans akan diperoleh :

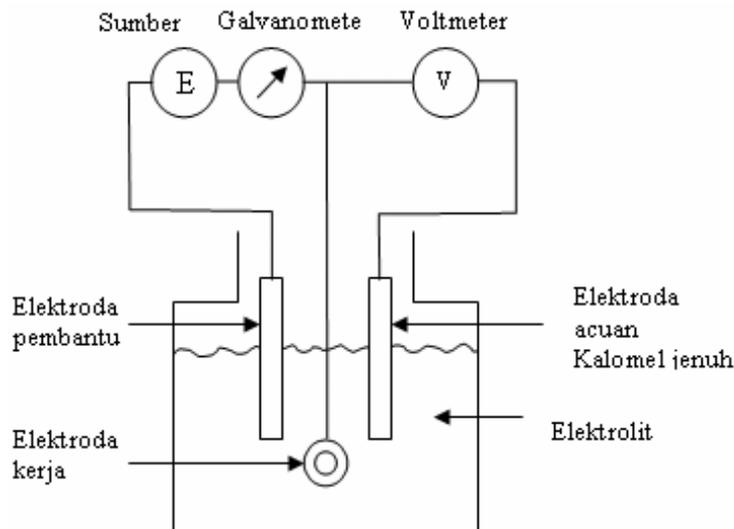
$$\frac{dQ}{dt} = z \cdot F \cdot dM/dt \quad (8)$$

bila laju aliran muatan adalah arus  $I$ , dan kerapatan arus tiap satuan luas  $i$ , maka  $dM/dt$  menjadi  $J$ , yaitu fluks bahan, dan persamaan menjadi :

$$i = z \cdot F \cdot J \quad (9)$$

Fluks bahan (*flux of substance*) adalah sebutan lain untuk laju korosi per satuan luas.

Untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan-bahan dalam laboratorium digunakan sel tiga elektroda.



Gambar 2. Sel tiga elektroda.

Sel tiga elektroda terdiri dari<sup>[4]</sup> :

1. Elektroda kerja (*working electrode*). Sebutan ini diberikan pada elektroda yang akan diteliti. Disini spesimen yang berbentuk lingkaran dengan diameter 15 mm dipasang pada elektroda kerja.
2. Elektroda acuan (*reference electrode*). Elektroda ini untuk mengacu pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian elektroda ini tidak akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tetap konstan. Elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kalomel.
3. Elektroda pembantu (*auxiliary elektroda*). Elektroda ini diperlukan untuk mengangkut arus yang terbentuk selama pengujian dan tidak digunakan untuk pengukuran potensial. Biasanya terbuat dari platina atau bahan lain yang tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion kedalam elektrolit.

Pengujian korosi dilakukan dengan memberi tegangan kerja  $E$  pada harga minus tertentu dan berubah kearah harga lebih positif dengan laju tertentu sampai pada suatu harga tegangan positif tertentu. Dengan bantuan mikro komputer didapat grafik  $E/\log i$  yang disebut grafik pengulasan potensiodinamik. Grafik  $E/\log i$  dengan potensial  $E$  (volt) sebagai ordinat dan kerapatan arus  $\log i$  (ampere per meter persegi) sebagai absis merupakan

salah satu metode paling umum dalam penelitian perilaku korosi.

## TATA KERJA DAN PERCOBAAN

### Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon medium tipe AISI 1045. Preparasi sampel meliputi pemotongan bahan, pembentukan dan penggosokan. Sampel dibuat dengan mesin bubut, dibentuk cakram dengan diameter 15 mm dan tebal 2 mm. Salah satu sisi diberi tanda dengan stempel huruf dan sisi sebaliknya digosok dengan mesin polis. Untuk menggosok digunakan kertas gosok (amplas) dengan tingkat kekasaran berturut-turut 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 mesh. Setelah digosok, dipolis dengan pasta intan  $\frac{1}{4}$  mikro pada kain bludru, sehingga diperoleh permukaan yang mengkilap seperti cermin. Kemudian dibersihkan dan dicuci dengan alkohol/aceton, dikeringkan dengan *hairdryer*, dibungkus dengan kertas tisu dan dimasukkan kedalam kantong plastik.

### Pelaksanaan Proses Nitridasi

Pada percobaan ini sampel berbentuk cakram yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam ruang tabung kaca pyrek yang berdiameter 35 mm. Dengan bantuan regulator gas, tabung diberi aliran yang relatif besar selama 10 menit agar udara yang

ada di dalam tabung terdorong keluar. Kemudian aliran gas nitrogen dibuat tetap sebesar 100 cc/menit. Kecepatan aliran dapat diketahui dengan indikator pada alat pengukur laju aliran (*flow meter*); selanjutnya oven dinyalakan hingga temperatur kerja yaitu 550 °C. Lama proses nitridasi divariasikan 20, dan 30 jam. Setelah itu oven dimatikan, proses pendinginan berlangsung lambat dalam oven dan aliran gas nitrogen tetap dipertahankan sampai temperatur kamar. Kemudian dilakukan pengujian korosi.

**Pengujian Korosi**

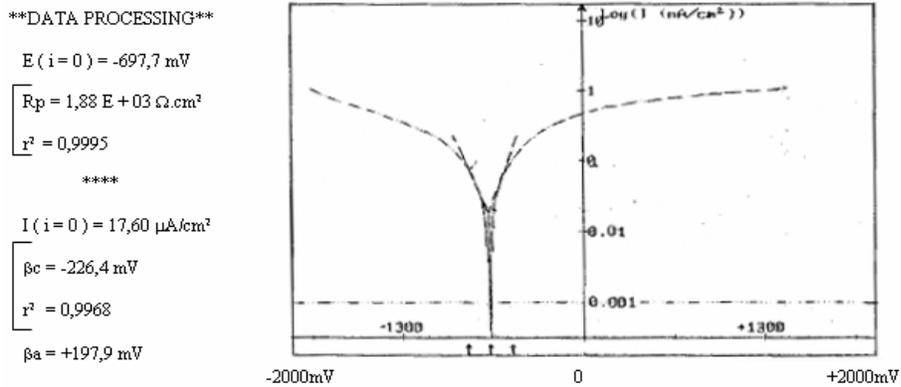
Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan Galvanostat PGS 201T. Langkah-langkah pengujian :

1. Memasang benda uji pada alat pemegang.
2. Memasukkan alat pemegang ke dalam tabung sel elektroda.

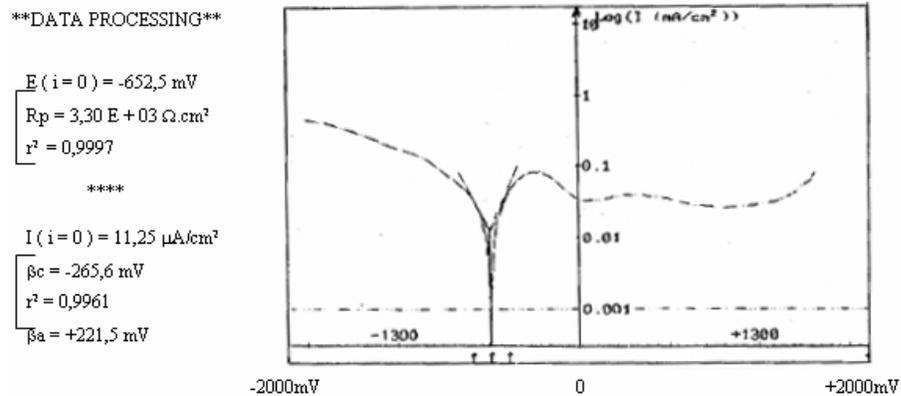
3. Mengisi tabung sel elektroda dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 Mol.
4. Menghidupkan saklar listrik.
5. Menyetel tegangan kerja pada - 2000 mV sampai 2000 mV dengan laju 20 mV/sec.
6. Grafik potensiodinamik akan tampak pada monitor komputer.
7. Melakukan pencetakan data.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil pengujian korosi didapat grafik pengulasan potensiodinamik, untuk sampel tanpa dinitridasi grafik tertera pada Gambar 3 dan untuk sampel yang dinitridasi 20 jam dan 30 jam tertera pada Gambar 4 dan Gambar 5.



**Gambar 3. Pengulasan potensiodinamik untuk sampel tanpa nitridasi dalam medium H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 Mol.**

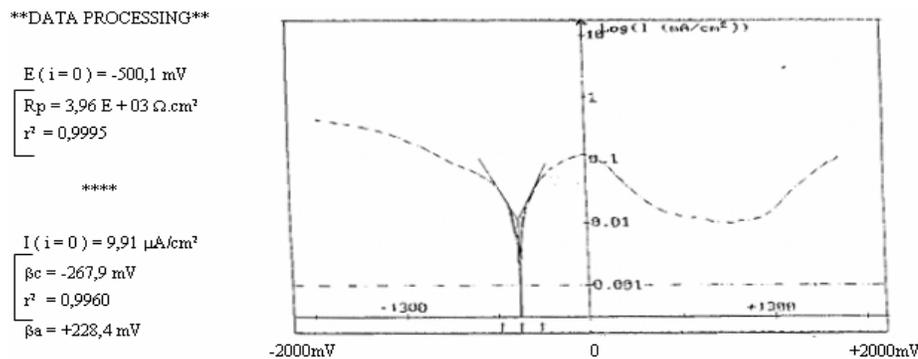


**Gambar 4. Pengulasan potensiodinamik untuk sampel yang dinitridasi selama 20 jam dalam medium H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 Mol.**

Dari grafik Gambar 3 dapat diketahui bahwa baja karbon AISI 1045 tanpa nitridasi pada daerah tegangan -2000 mV sampai -697,7 mV baja karbon tersebut berfungsi sebagai katoda, sedangkan dari -697,7 mV hingga harga potensial yang makin positif baja karbon berperilaku sebagai anoda yang berarti bahan terkorosi. Dari grafik dan hasil pengujian didapat potensial korosi ( $E_{kor}$ ) sebesar -697,7 mV. Pada potensial korosi tersebut rapat arus korosi ( $I_{kor}$ ) sebesar 17,6  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Dari grafik Gambar 4 dapat diketahui bahwa

baja karbon AISI 1045 yang dinitridasi selama 20 jam pada daerah tegangan -2000mV sampai -652,5mV baja karbon berfungsi sebagai katoda, sedangkan dari -652,5 mV hingga harga potensial yang makin positif baja karbon berperilaku sebagai anoda yang berarti bahan terkorosi. Pada potensial-potensial di daerah antara -300 mV hingga 0V bahan mengalami pemasifan. Dari grafik dan hasil pengujian didapat potensial korosi ( $E_{kor}$ ) sebesar -652,5 mV. Pada potensial korosi tersebut rapat arus korosi ( $I_{kor}$ ) sebesar 11,25  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .



**Gamba 5. Pengulasan potensiodinamik untuk sampel yang dinitridasi selama 30 jam dalam medium H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 Mol.**

Dari grafik Gambar 5 dapat diketahui bahwa baja karbon AISI 1045 yang dinitridasi selama 30 jam pada daerah tegangan -2000mV sampai -500,1mV baja karbon berfungsi sebagai katoda, sedangkan dari -500,1 mV hingga harga potensial yang makin positif baja karbon berperilaku sebagai anoda yang berarti bahan terkorosi. Pada potensial-potensial di daerah antara 0V hingga 1000 mV bahan mengalami pemasifan. Dari grafik dan hasil pengujian didapat potensial korosi ( $E_{kor}$ ) sebesar -500,1 mV. Pada potensial korosi tersebut rapat arus korosi ( $I_{kor}$ ) sebesar 9,91  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

**Tabel 1. Kerapatan arus korosi dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,001 Mol.**

No	Bahan	Kerapatan arus korosi ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
1.	Tanpa nitridasi	17,6

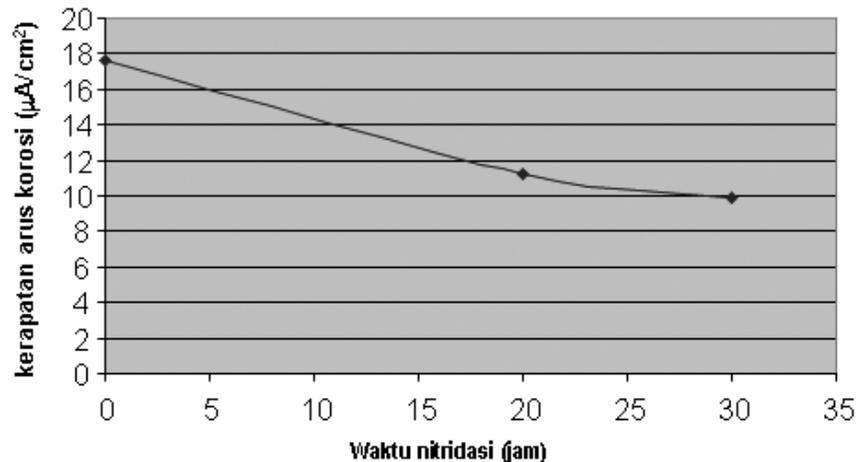
2.	Nitridasi 20 jam	11,25
3.	Nitridasi 30 jam	9,91

Dalam proses nitridasi baja karbon terjadi difusi atom nitrogen kedalam bahan membentuk larutan padat interstisi<sup>[1]</sup>. Atom nitrogen yang larut padat membentuk ikatan dengan atom besi, ikatan yang terbentuk menurunkan tingkat energi bebas positif pada gugus atom tersebut. Dengan menurunnya tingkat energi bebas positif, maka bahan akan lebih sulit terkena serangan korosi<sup>[3]</sup>.

Konsentrasi atom nitrogen dipengaruhi oleh waktu proses, sehingga waktu proses akan mempengaruhi sifat bahan terhadap korosi. Dari uji korosi pada bahan tanpa nitridasi dan tanpa perlakuan panas pendahuluan kerapatan arus korosi sebesar 17,6  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan pada jenis bahan yang sama nitridasi 20 jam diuji korosi diperoleh kerapatan arus korosi sebesar 11,25  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Dengan terjadinya penurunan kerapatan arus korosi berarti ketahanan korosi bahan meningkat. Pada pengujian korosi pada bahan yang sejenis dengan waktu

nitridasi 30 jam didapat kerapatan arus korosi 9,91  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  yang berarti terjadi peningkatan ketahanan korosi dibandingkan dengan bahan yang dinitridasi 20 jam. Dengan demikian waktu nitridasi mem-

pengaruhi tingkat ketahanan korosi, nitridasi dengan waktu 20 jam dan 30 jam terjadi peningkatan ketahanan korosi.



**Gambar 6. Hubungan waktu nitridasi terhadap laju korosi dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,001Mol.**

## KESIMPULAN

Hasil pengujian korosi menunjukkan pada bahan tanpa nitridasi kerapatan arus korosi 17,6  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , bahan dinitridasi 20 jam dan 30 jam kerapatan arus korosi sebesar 11,25  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  dan 9,91  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Dengan menurunnya kerapatan arus korosi berarti baja karbon AISI 1045 dinitridasi hingga 30 jam terjadi peningkatan sifat ketahanan korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUJITNO TJIPTO, *Pengamatan Struktur Kristal dari Lapisan Tipis Nitridasi Besi Hasil Implantasi Ion Nitrogen dengan Mikroskop Elektron Transmisi*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY- BATAN, Yogyakarta 26-27 Mei 1998.
- [2] *Phasa Diagram ASM Hand Book*, 1985.
- [3] TRETHERWEY KENNETH R., *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- [4] SUSITA LELY, Pengaruh Implantasi Ion Nitrogen dan Molibdenum Terhadap Ketahanan

Korosi Permukaan Baja Tahan Karat Tipe AISI 316L. Prosiding Pertemuan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, 2001.

- [5] VLACK, V., *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga, Jakarta, 1983.

## TANYA JAWAB

### Rani Saptaaji

– Proses nitridasi berlangsung dengan laju aliran gas nitrogen 100 cc/menit. Mohon penjelasan berapa besarnya konsentrasi atom nitrogen dalam sampel pada percobaan untuk waktu 20 jam dan 30 jam.

### Setyo Atmojo

– Dalam hal ini tidak kami lakukan penelitian konsentrasi atom nitrogen dalam sampel untuk waktu 20 jam atau 30 jam, karena sesuai judul makalah, kami hanya membatasi pada pengaruh waktu nitridasi terhadap ketahanan korosi.