

KARAKTERISASI KOROSI BAJA SS-430 PADA LINGKUNGAN NaCl

Heri Jodi

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang Selatan
Banten-Indonesia 15314 Telp./Faks.: 021.7587.4788
e-mail: herieldi@batan.go.id

ABSTRACT

SS-430 is a ferrite type alloy that can be selected for the base material of sea-water duct-pipes in the water supply system of a power reactor; but in general the ferritic alloy is not as good as austenitic with respect to corrosion resistance. Then NaCl environment is used to examine corrosion rate of SS-430. The corrosion was observed in four concentrations of NaCl solution. The experiments were carried out using M-273 EG&G potentiostat test instrument with polarization method. The microstructure of post-corrosion samples were analyzed with an EDS attached to SEM instrument to detect the presence of any viable corrosion byproducts. X-ray diffraction method was also used to detect any possible emerging corrosion on samples surfaces. The results showed that SS-430 suffers very little corrosion in NaCl environment, and that this material turn out to have an outstanding resistance toward NaCl corrosion. The possible ensuing corrosion byproducts are chrome oxides and iron oxides.

Keywords: Corrosion; Stainless Steel 430; Sodium Chloride; X-Ray Diffraction; Potentiostat.

PENDAHULUAN

Baja nirkarat SS-430 adalah salah satu tipe paduan *ferrite* yang dapat dipilih sebagai bahan dasar pembuatan pipa air laut pada sistem suplai air di sebuah reaktor pembangkit listrik yang umumnya berada pada lingkungan laut.¹ Pada lingkungan yang memiliki kadar garam hingga 3,5% atau lingkungan dengan kadar ion klorida yang cukup tinggi, baja karbon rendah mengalami kegagalan material akibat korosi yang menyeluruh ke seluruh permukaan logam tergantung dari konsentrasi elektrolit di lingkungan.

Pada umumnya baja *ferrite* tidak mempunyai ketahanan korosi yang lebih bagus dibandingkan dengan tipe *austenite*. Hal ini dikarenakan tipe *ferrite* tidak memiliki kandungan nikel sebagai elemen paduannya. Nikel, selain berfungsi sebagai agen antikorosi juga merupakan agen pembentuk *austenite*. Hal tersebut menjadikan pengujian korosi terhadap baja *ferrite* menjadi sangat diperlukan, terutama efek korosi pada lingkungan natrium klorida (NaCl).

Biaya untuk kontrol korosi dan servis akibat proses korosi logam sangatlah mahal. Oleh karena itu, sifat ketahanan korosi logam menjadi bahan penelitian yang banyak dilakukan. Conde *et al.*² mendiskusikan tentang perbaikan sifat ketahanan terhadap korosi *pitting* dengan metode pelelehan permukaan dengan laser. Bacci *et al.*³ membahas ketahanan baja las terhadap *detergen*. Penyelidikan perilaku baja nirkarat SS-430 terhadap korosi di lingkungan HCl diselidiki oleh Silalahi *et al.*⁴ Perilaku baja nirkarat SS-304 dan SS-316 dalam media HCl menggunakan metode uji kabut garam diteliti oleh Priyotomo dkk.,⁵ sedangkan Habib dkk.,⁶ mengujinya dengan metode implantasi ion tembaga. Penyelidikan tentang ketahanan baja nirkarat pada lingkungan NaCl masih sedikit sehingga pengujian korosi pada lingkungan tersebut menjadi sangat diperlukan.

Reaksi korosif dalam sebuah lingkungan tertentu adalah sebuah keadaan transisi, yang lebih sering terjadi secara spontan melalui pelepasan energi bebas dari sebuah sistem ke lingkungannya.⁷ Faktor penting terjadinya korosi lingkungan

adalah adanya hujan, kabut atau pengembunan akibat kelembapan tinggi relatif. Kabut dan pengembunan dapat mengakibatkan korosi membasahi seluruh permukaan. Selapis tipis air yang tidak kelihatan sudah cukup membuat suatu sel korosi yang baik. Tingkat keparahan suatu logam pada korosi lingkungan umumnya ditentukan oleh konduktivitas elektrolit terlarut, salah satunya adalah lingkungan yang mengandung ion-ion klorida atau lingkungan laut.

Korosi terjadi melalui reaksi elektrokimia di permukaan logam karena adanya larutan elektrolit. Sepotong logam yang berada pada lingkungan elektrolit dapat bertindak sebagai anoda, katoda, dan penghubung listrik sendiri. Laju korosi ditentukan oleh kesetimbangan antara dua reaksi elektrokimia yang berlawanan. Yang pertama adalah reaksi anodis, di mana logam teroksidasi dan mendapatkan penambahan jumlah elektron. Reaksi lawannya adalah reaksi katodis dengan satu unsur larutan (umumnya O_2 atau H^+) dikurangi dan elektron lepas dari logam. Aliran arus elektron ini merupakan penyebab utama korosi dalam logam.

Teknik elektrokimia sangat ideal untuk melihat proses korosi karena bisa dilakukan dengan cepat. Pada teknik ini, digunakan instrumen sel polarisasi yang terdiri atas tiga bagian pokok, yaitu potensiostat, sel elektrokimia, dan rangkaian akuisisi. Potensiostat dipakai untuk menyiapkan tegangan DC yang stabil dan dapat diprogram oleh mikrokomputer. Sel elektrokimia terdiri atas elektrode pembanding, elektrode kerja dan elektrode penghitung. Rangkaian akuisisi berfungsi sebagai pencatat data dan berantarmuka dengan mikrokomputer. Prinsip kerjanya adalah bila antara elektrode pembanding dan elektrode kerja diberikan beda potensial, akan mengalir arus aplikasi pada elektrode penghitung sehingga akan dihasilkan kurva polarisasi berupa kurva arus fungsi potensial.⁸

Pengukuran dengan sel elektrokimia akan menghasilkan parameter tahanan polarisasi (R_p) dan konstanta Tafel (β_{anodis} dan $\beta_{katodis}$). Tahanan polarisasi mempunyai fungsi untuk menghitung kerapatan arus korosi i_{corr} . Laju korosi v dalam satuan mili inci per tahun (mpy) dapat dihitung dari kerapatan arus korosi tersebut, memakai

data kerapatan benda uji (δ) dan berat ekuivalen benda uji (W_E).

$$i_{corr} = (1/R_p) (\beta_a \beta_k / 2.303 (\beta_a + \beta_k))$$

$$v = (0,13/\delta) i_{corr} W_E$$

Tujuan dari eksperimen ini adalah mengukur laju korosi baja SS-430 dalam lingkungan NaCl. Pengukuran dilakukan dalam beberapa variasi konsentrasi media korosinya, dan mengidentifikasi jenis produk korosi yang terjadi pada permukaannya saat berada pada lingkungan NaCl.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di PTBIN-BATAN Serpong, pada rentang waktu bulan April–September 2007. Bahan percobaan adalah plat baja nirkarat komersial SS-430 yang mempunyai komposisi kimia pada Tabel 1, larutan NaCl yang akan digunakan sebagai media korosi dengan konsentrasi 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7 M, kertas ampelas yang mempunyai ukuran kekasaran 400–1.500 mesh, ampelas beludru, dan pasta intan. Proses penelitian yang dilakukan dipresentasikan oleh diagram alur penelitian pada Gambar 1.

Alat penelitian yang digunakan adalah mesin pemotong Buehler dengan pisau piringannya, mesin poles yang dibuat oleh Karl Kolb (Denmark), alat pengujian korosi potensiostat M273 yang dirakit oleh EG&G *Princeton Applied Research Corporation*, dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak M352/252 *Corrosion Measurement System* dan dilengkapi dengan gelas uji, botol, pipet, dan tabung uji. Instrumen analisis pendukung pada penelitian ini adalah mikroskop optik Nikon UFX-DX, Difraktometer sinar-X Shimadzu XD-610, dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merk Philips yang dilengkapi EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

Pada proses preparasi benda uji, plat baja SS-430 dipotong menjadi bagian-bagian kecil dengan ukuran yang sama, kemudian dibentuk

Tabel 1. Unsur Pemadu Baja Nirkarat SS-430 (w%)¹

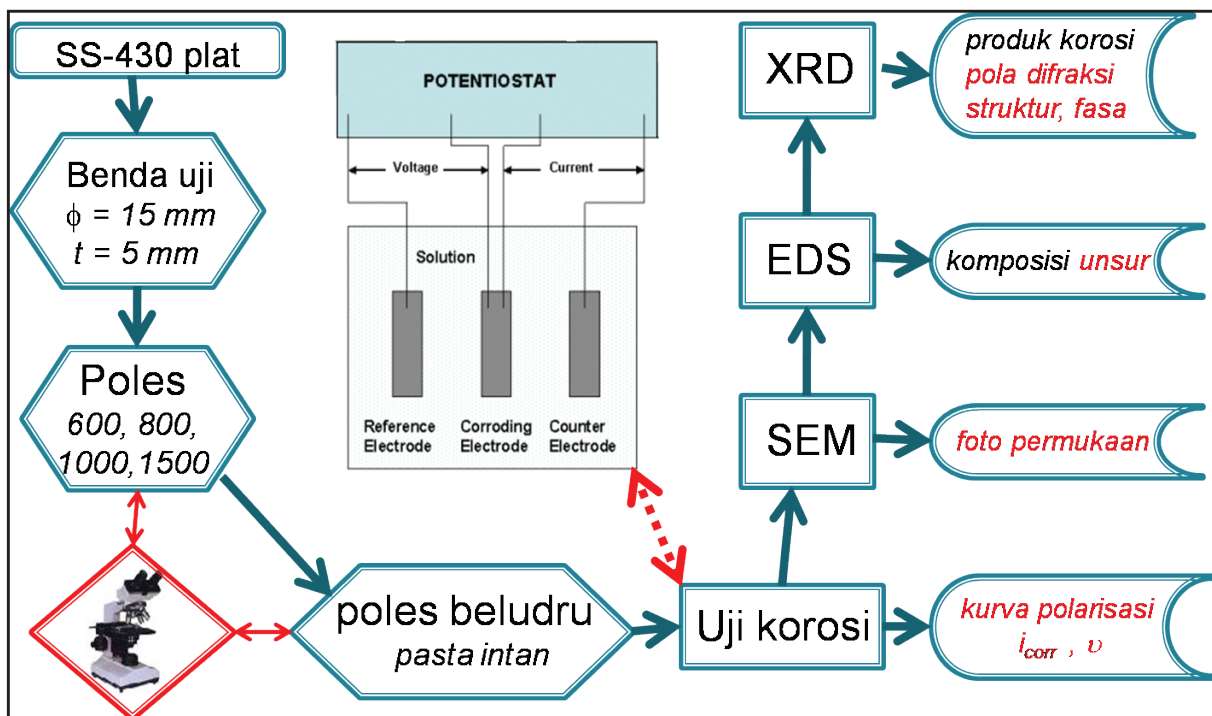
Unsur	Cr	C	Si	Mn	S	P
Berat %	16-18	0.12	1.25	1.0	0.03	0.04

menjadi bulat dengan ketebalan 5 mm dan diameter 15–16 mm menggunakan mesin poles dan kertas ampelas 400 mesh. Pemolesan benda uji dilakukan dengan cara menggosok permukaan secara bertahap menggunakan kertas ampelas 600, 800, 1.000, dan 1.500 mesh sampai permukaan benda uji mencapai tingkat kekasaran yang relatif sama dan tercapai keseragamannya. Pemeriksaan hasil perlakuan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran sampai 1.000 kali. Selanjutnya, benda uji digosok dengan pasta intan pada kain beludru sehingga diperoleh permukaan yang benar-benar halus dan mengilap. Penentuan material benda uji ini disesuaikan dengan standar yang telah baku.⁹

Pengujian korosi dilakukan dengan teknik polarisasi atau potensiostatik, mengikuti prosedur sebagai berikut. Pertama-tama sel korosi tiga elektrode diisi dengan larutan elektrolit yang berfungsi sebagai media korosi sebanyak 600 ml. Benda uji dicelupkan ke dalam sel dan berfungsi sebagai elektrode kerja. Sebagai elektrode pembanding digunakan calomel standar, elektrode penghitung digunakan batang karbon. Selanjutnya, dilakukan pengukuran potensial sirkuit

terbuka E_{oc} , yaitu potensial setimbang logam saat tidak ada koneksi elektrik terhadapnya. Sel korosi dihubungkan dengan potensiostat yang memberikan beda potensial. Prinsip kerjanya adalah bila antara elektrode pembanding dan elektrode kerja diberikan beda potensial, akan mengalir arus aplikasi pada elektrode penghitung sehingga akan dihasilkan kurva polarisasi berupa kurva arus fungsi potensial.⁸ Potensial dipasang pada 20 mV di bawah potensial korosi dan 20 mV di atas potensial korosi. Kecepatan pemindaian potensial adalah 0,1 mV/s. Dari pengukuran ini harga tahanan polarisasi (R_p) dan konstanta Tafel anodis-katodis didapatkan secara otomatis. Informasi yang didapatkan adalah arus korosi i_{corr} yang kemudian dipakai untuk menghitung laju korosi v .

Untuk melihat kerusakan yang terjadi, setiap permukaan benda uji diperiksa di bawah mikroskop elektron SEM dengan perbesaran sampai 500 μm . Kemudian, dilihat unsur-unsur yang dominan pada titik-titik kerusakan tersebut menggunakan EDS. Untuk menentukan produk-produk korosi yang terjadi pada permukaan benda uji, setiap benda uji diperiksa dengan difraktometer sinar-X yang menggunakan panjang gelombang K_{α} dari



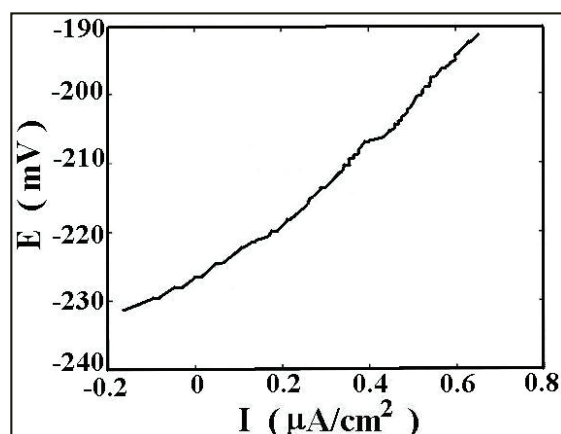
Gambar 1. Skema Diagram Alur Penelitian.

target Cu ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), dengan sudut pindai $2\theta = 20\text{--}120$. Analisis sinar-X diselesaikan dengan menggunakan program perangkat lunak dari *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva polarisasi yang dihasilkan dari pengujian korosi bahan SS-430 dalam media NaCl 0,5 M diperlihatkan pada Gambar 2. Kurva memiliki *slope* (kemiringan) yang positif, artinya reaksi korosi yang dominan terjadi saat benda uji dicelupkan pada larutan NaCl 0,5 M adalah reaksi anodis, di mana baja mengalami proses oksidasi. Kurva yang tidak linear menunjukkan bahwa selain reaksi anodis juga terjadi reaksi katodis, walaupun pada tingkat yang dapat diabaikan. Ini artinya bahwa produk korosi yang terjadi kemungkinan besar adalah oksida-oksida dari unsur-unsur pematu baja. Hal tersebut terjadi juga pada konsentrasi 0,4; 0,6; dan 0,7 M. Tahanan polarisasi (R_p) merupakan kemiringan dari kurva polarisasi mempunyai harga yang bergelombang seiring dengan kenaikan konsentrasi NaCl, dengan kecenderungan meningkat. Tahanan polarisasi yang didapatkan untuk konsentrasi 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7 M masing-masing adalah 40,21; 33,76; 146,74; dan 99,41 $\text{k}\Omega \text{ cm}^{-2}$.

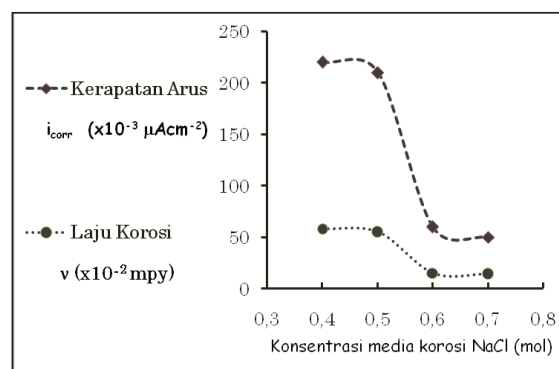
Parameter yang didapatkan dari kurva polarisasi adalah kerapatan arus korosi i_{corr} hasil pengukuran yang menunjukkan tendensi



Gambar 2. Hubungan potensial polarisasi dengan kerapatan arus yang didapatkan dari benda uji SS-430 yang dicelupkan pada media larutan NaCl dengan konsentrasi 0,5 M.¹⁰

penurunan seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi media korosi NaCl. Pada setiap konsentrasi 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7 M kerapatan arus korosinya masing-masing mencatatkan harga 0,22; 0,21; 0,06; dan 0,05 μAcm^{-2} . Penurunan kerapatan arus korosi ini berpengaruh pada laju korosi hasil pengukuran yang juga memiliki kecenderungan menurun. Laju korosi tertinggi dicatatkan oleh konsentrasi NaCl 0,4 M, yaitu 0,0583 mpy, sedangkan laju korosi terendah dicatatkan oleh konsentrasi NaCl 0,7 M dengan nilai 0,0142 mpy. Untuk konsentrasi NaCl 0,5 dan 0,6 M, laju korosinya masing-masing mencatatkan nilai 0,0551 dan 0,0151 mpy. Hubungan antara konsentrasi media korosi NaCl dengan kerapatan arus dan laju korosi ditunjukkan oleh Gambar 3.

Peningkatan konsentrasi media dalam setiap pengukuran menimbulkan arus korosi yang lebih kecil. Hal tersebut akhirnya menyebabkan penurunan pada laju korosinya. Perbedaan kerapatan arus yang mencolok pada konsentrasi 0,4–0,5 M dengan 0,6–0,7 M menunjukkan bahwa pada konsentrasi 0,4–0,5 M lebih banyak terjadi oksidasi pada permukaan baja. Hal ini menunjukkan bahwa SS-430 mempunyai kecenderungan lebih mengalami ionisasi pada media korosi yang mempunyai konsentrasi yang kecil. Pengukuran korosi SS-430 pada media yang mempunyai konsentrasi yang lebih kecil memberikan hasil laju korosi yang lebih lemah bila dibandingkan dengan hasil pengukuran dalam media dengan konsentrasi lebih tinggi.



Gambar 3. Kurva hubungan antara konsentrasi media korosi NaCl dengan kerapatan arus korosi i_{corr} dan laju korosi v .

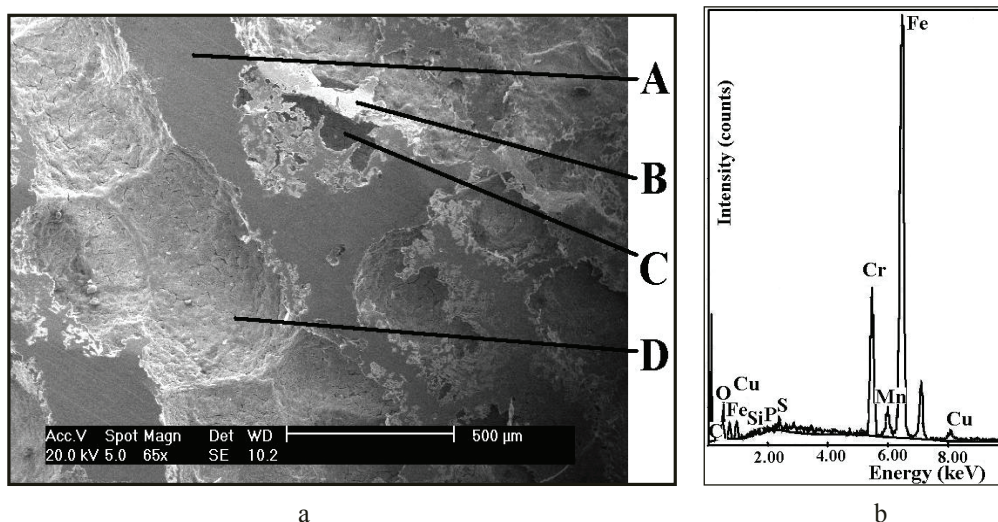
Laju korosi yang dihasilkan oleh setiap pengukuran pada penelitian ini, sangatlah kecil dengan harga 0,0142–0,0583 mpy. Artinya, dalam media NaCl 0,4 M baja SS-430 akan mengalami korosi sedalam 0,058 mili inci dalam kurun waktu setahun. Angka ini lebih kecil jika dibandingkan dengan laju korosinya pada media HCl dengan konsentrasi yang lebih lemah, yaitu berkisar antara 0,0207–0,64 mpy.⁴ Ini artinya baja SS-430 lebih tahan terhadap korosi di lingkungan NaCl daripada di lingkungan HCl.

Sehubungan dengan ketahanan korosi, bahan paduan besi komersial diklasifikasikan dalam beberapa kategori.⁷ Paduan yang memiliki laju korosi lebih besar dari 200 mpy dikategorikan sebagai bahan yang tidak bisa diterima (*unacceptable*) sebagai bahan struktur, kecuali untuk material yang murah dengan permukaan yang sangat tebal. Kategori kurang baik (*poor*) diberikan pada bahan yang memiliki rentang laju korosi antara 50–200 mpy. Sebuah bahan dinyatakan cukup baik (*fair*) bila memiliki laju korosi 20–50 mpy. Kategori ini merupakan kelas yang cukup banyak dipakai di pasaran. Kategori baik (*good*) diberikan pada bahan yang memiliki laju korosi antara 5–20 mpy, dan kategori sangat baik (*excellent*) untuk bahan dengan laju korosi 1–5 mpy. Adapun untuk laju korosi kurang

dari 1 mpy mendapatkan kategori luar biasa (*outstanding*). Laju korosi yang dicatatkan oleh SS-430 memberikan kelas yang luar biasa dalam hubungannya dengan ketahanan korosi baja SS-430 pada lingkungan media larutan NaCl.

Pengukuran sifat korosi menggunakan teknik *potentiodynamic* atau galvanostatis, menunjukkan bahwa SS-430 pada lingkungan larutan NaCl dengan konsentrasi ini tidak memiliki potensial pasifasi (*passivation potential*), yaitu suatu daerah di mana tidak terjadi proses korosi.¹⁰ Ini artinya SS-430 mudah dan terus terkorosi pada media NaCl. Akan tetapi, proteksi katodis dari benda uji ini menekan timbulnya arus korosi sehingga laju korosinya menjadi kecil. Proteksi katodis terjadi karena SS-430 mengandung bahan-bahan pemuat antikorirosi seperti Cr yang mempunyai potensial reduksi lebih kecil dibandingkan dengan potensial reduksi Fe. Larutan korosi harus menghadapi potensial negatif yang ditimbulkan oleh Cr dan elemen pemuat lainnya, sebelum dapat menyerang Fe.

Hasil pengamatan mikrostruktur benda uji dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa permukaan benda uji telah mengalami kerusakan oleh media korosi, seperti diperlihatkan oleh Gambar 4.a. Terdapat bintik *spot* yang tidak merata pada permukaan benda uji yang telah



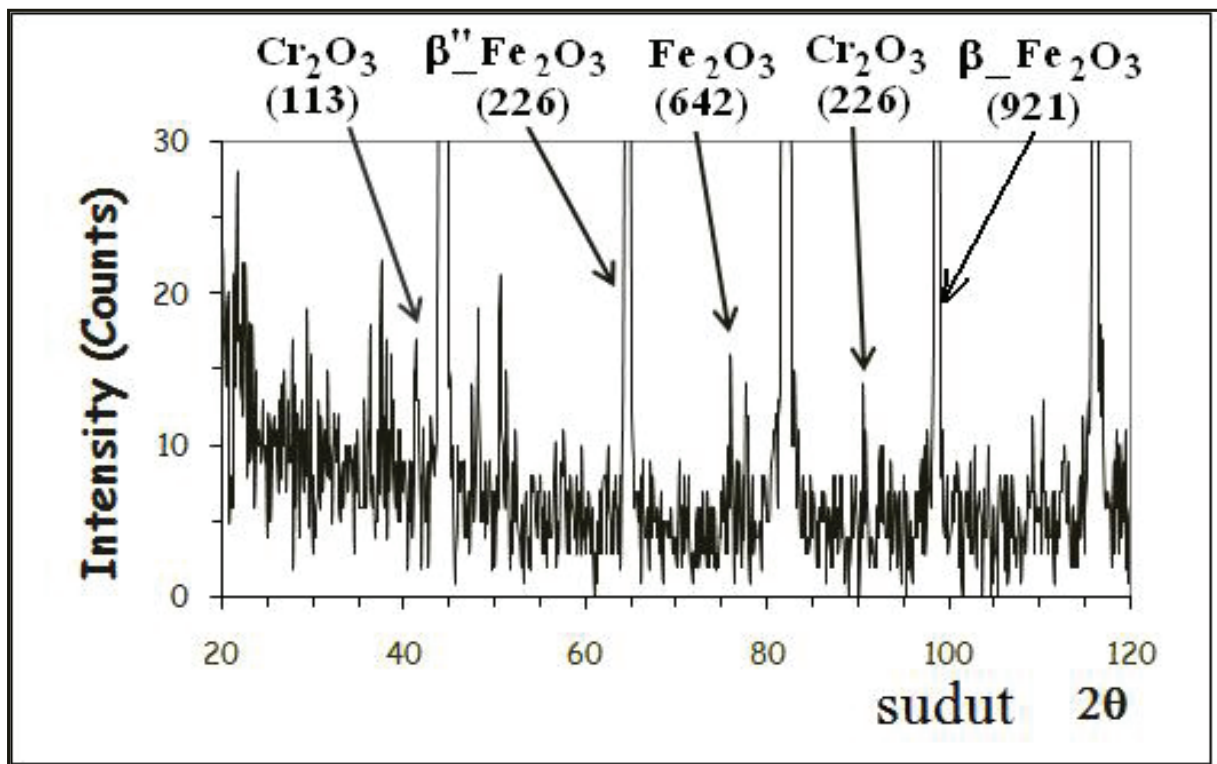
Gambar 4.a Mikrostruktur permukaan SS-430 yang dicelupkan pada larutan NaCl 0,5 M, yang dihasilkan dari foto SEM. Titik A menunjukkan permukaan baja yang belum terkorosi. Titik B menunjukkan daerah terkorosi dengan produk korosinya kemungkinan besar adalah oksida krom, selain besi seperti ditunjukkan oleh EDS pada Gambar 4.b Titik C merupakan daerah terkorosi yang didominasi oleh unsur Cr, produk korosinya kemungkinan besar adalah oksida krom. Titik D menunjukkan daerah di mana oksida besi dan oksida krom hadir merata.

terkorosi. Titik A menunjukkan permukaan benda uji yang masih belum terkorosi. Penyelidikan lebih lanjut pada bintik-bintik permukaan tersebut menggunakan EDS, diketahui bahwa pada titik B terdapat kandungan unsur besi yang dominan, serta krom dan oksigen, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.b. Hal ini menunjukkan kemungkinan besar di daerah tersebut ditemukan produk korosi berupa oksida besi. Titik C menunjukkan daerah di mana produk korosinya kemungkinan besar lebih didominasi oleh oksida krom, sedangkan titik D produk korosinya kemungkinan oksida krom dan oksida besi hadir merata.

Berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur yang dilengkapi data EDS tersebut dapat dikatakan bahwa dalam media NaCl, korosi erosi (*pitting*) benar-benar terjadi. Ini disebabkan oleh klorin yang menyerang benda uji. Klorin dapat melakukan penetrasi dan memasuki *bulk*, dan selanjutnya membentuk porositas. Porositas tersebut kemudian diisi oleh larutan korosi yang menyebabkan aberasi pada benda uji. Yang terjadi kemudian adalah produk korosi berupa

oksida besi dan oksida krom. Fakta ini diperkuat dengan data hasil difraksi sinar-X.

Pola difraksi sinar-X benda uji SS-430 pada larutan NaCl 0,5 M diperlihatkan pada Gambar 5. Kemunculan puncak-puncak asing di samping puncak regular mengindikasikan adanya produk korosi di dalam benda uji. Analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak dari JCPDS menunjukkan adanya kehadiran produk korosi padat oksida krom (Cr_2O_3) seperti pada sudut $2\theta = 41,5, 50,2$, dan $90,2$. Oksida besi (Fe_2O_3) orthorombik hadir pada sudut $2\theta = 54,9$, Fe_2O_3 kubik ada pada $2\theta = 75,5$ dan $77,5$, sedangkan Fe_2O_3 tetragonal pada $2\theta = 56,2$ dan $102,3$. $\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dengan struktur kubik hadir pada sudut $2\theta = 65,9; 70,8; 80,4; 81,9$; dan $98,9$. $\beta''\text{-Fe}_2\text{O}_3$ tetragonal hadir pada sudut $2\theta = 43,7; 54,5$; dan $64,9$. Kehadiran bentuk-bentuk produk korosi ini sejalan dengan hasil pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan peralatan SEM dan EDS.



Gambar 5. Pola intensitas difraksi sinar-X dari benda uji SS-430 setelah mengalami korosi pada media larutan NaCl 0,5 M. Puncak-puncak oksida krom dan oksida besi yang merupakan produk korosi hadir, di samping puncak-puncak regular.

KESIMPULAN

Baja komersial SS-430 mengalami proses korosi terus menerus pada lingkungan NaCl. Reaksi korosi yang terjadi, didominasi oleh reaksi anodis. Laju korosi yang terukur sangatlah kecil dengan tendensi menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan NaCl. Jadi dapat disimpulkan bahwa SS-430 mempunyai ketahanan korosi yang luar biasa (*outstanding*) pada lingkungan NaCl. Produk korosi yang terjadi pada permukaan baja SS-430 di lingkungan NaCl didominasi oksida krom dan oksida besi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan pada pihak PTBIN-BATAN dan kepada Sdr. M. Ihsan dkk., yang telah banyak membantu pengukuran serta pengoperasian alat-alat pengukuran dan karakterisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹December 2000. *Advanced Material and Processes, Composition of Standard Stainless Steels*.
- ²Conde, A., R. Colaco, R. Vilar, and J.de Damborenea. 2000. Corrosion Behaviour of Steels After Laser Surface Melting. *Materials & Design* 21 (5): 441–445.
- ³Bacci, D., A. Cauteruccio, and C. Turco. 1984. Behaviour of Resistance Welded AISI-430 Exposed to Detergents. *Journal of Materials Science Letters* 3 (8): 681–684.
- ⁴Silalahi, M., H. Jodi, dan N. Effendi. April 2007. Corrosion analysis of SS-430 in Hydro Chloride solution. *Majalah Ilmu & Teknologi* 16 (1): 8-18.
- ⁵Priyotomo, G. dan H. Soeroso. November 2007. Karakterisasi perbandingan material baja karbon rendah dan baja nirkarat di lingkungan 5% klorida dengan uji kabut garam. <http://gadange-bookformaterialscience.blogspot.co>, diakses 19 Juli 2009.
- ⁶Habib, A. dan P. Anggraita Prayoto. Juli 2005. Efek Implantasi Ion Tembaga terhadap Sifat Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Austenitik dalam Media Asam Klorida. *Prosiding Pertemuan dan Persentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*: 276–282.
- ⁷Fontana, G. 1987. *Corrosion Engineering*, third ed. Singapore McGraw Hill Book Co.
- ⁸Electrochemical Corrosion Measurement; Review of the Electrochemical Basis of Corrosion. <http://www.mtec.or.th/th/research/famd/corro/electrochem.html>, diakses 19 Juli 2009.
- ⁹Goodhew, J. 1973. *Specimen Preparation In Materials Science*. American Elsevier, North 2 Holland.
- ¹⁰Jodi, H., M. Silalahi, dan N. Effendi. Desember 2008. Corrosion Behaviour of Steel (SS-430) In Sodium Chloride Environment. *Jurnal Sains Materi Indonesia* Edisi Khusus Desember 2008: 140–146.