

**NITRIDISASI BAHAN *STAINLESS STEEL*
DAN KETAHANANNYA TERHADAP KOROSI
PADA TEMPERATUR TINGGI**

Siti Muflihah



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2004**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Dan kami ciptakan besi yang mempunyai kekuatan yang hebat dan banyak manfaatnya bagi manusia. Dan Allah hendak membuktikan siapa yang menolong-Nya dan menolong rasul-rasul-Nya, sekalipun Allah tidak kelihatan.
(Q.S. 57: 25)

Hai orang-orang yang beriman. Apabila dikatakan kepadamu, 'luangkanlah tempat dalam persidangan', maka hendaklah kamu meluangkannya niscaya Allah memberi kelapangan bagimu. Dan apabila dikatakan kepadamu, 'berdirilah', maka hendaklah kamu berdiri niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.
(Q.S. 58: 11)

Sesungguhnya di samping kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau sudah selesai (menyerjakan sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.
(Q.S. 94: 6-8)



Kupersembahkan karyaku ini untuk keluargaku tercinta : Mama, Bapak, Aa dan Ade. Tak lupa juga untuk orang-orang yang kusayangi : Kaka, Anak Mex 6C dan teman-teman semua yang ikut berjuang dan memotivasiiku untuk menjadi lebih baik.



ABSTRAK

SITI MUFLIAH. Nitridisasi Bahan *Stainless Steel* dan Ketahanannya Terhadap Korosi pada Temperatur Tinggi. Dibimbing oleh MOCHAMAD NUR INDRO dan WAGIYO.

Pada penelitian ini menggunakan sampel bahan *stainless steel* 312A (baja paduan). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan antara *stainless steel* yang dinitridisasi dengan yang tidak dinitridisasi menggunakan gas NH_3 pada temperatur 550 °C, mana yang lebih tahan korosi. Uji korosi dilakukan dengan oksidasi yang dialiri udara pada temperatur 850 °C selama 50 jam, karena selama waktu perlakuan ini karbida Cr pada baja mulai stabil. Pada temperatur 850 °C terjadinya proses karbida Cr, karena Cr bereaksi dengan C maka terjadi pengurangan Cr atau sampel baja akan teroksidasi. Uji ketahanan korosi suatu bahan dengan menggunakan MSB (*magnetic suspension balance*) yang dapat mengamati adanya perubahan massa dari sampel yang terbentuk lapisan oksida berupa Fe_xO_y , Cr_xO_y , NiO dan Mn_xO_y . Pembentukan senyawa lapisan oksida ini bergantung pada laju difusi oksigen serta kandungan elemen sampel baja. Setelah dinitridisasi pada temperatur 550 °C baja akan meningkat ketahanan korosinya, karena adanya lapisan pelindung pada permukaannya berupa Fe_xN_y .

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *stainless steel* 312A yang telah diberi perlakuan panas nitridisasi pada temperatur 550 °C lebih tahan korosi pada temperatur 850 °C bila dibandingkan dengan *stainless steel* yang tidak dinitridisasi. Lamanya waktu proses nitridisasi mempengaruhi besarnya difusifitas sampel, sehingga lapisan nitrida yang dihasilkannya pun akan berbeda. Pada nitridisasi 5 jam lebih tahan korosi dibandingkan dengan yang 4 jam, 3 jam dan 2 jam, sehingga karena proses nitridisasi maka ketahanan korosi pada baja akan semakin meningkat selama tidak terjadi pengurangan Cr karena terbentuknya nitrida atau karbida Cr yang akan meningkatkan laju korosinya. Hal ini didukung oleh hasil uji struktur kristal dengan XRD (*X-ray diffractometer*) dan uji struktur mikro menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) yang menunjukkan adanya lapisan oksida dan nitrida yang terbentuk.

**NITRIDISASI BAHAN *STAINLESS STEEL*
DAN KETAHANANNYA TERHADAP KOROSI
PADA TEMPERATUR TINGGI**

Siti Muflihah

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains pada

Departemen Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2004**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



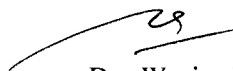
Judul Skripsi : Nitridisasi Bahan *Stainless Steel* dan Ketahanannya terhadap Korosi pada
Temperatur Tinggi
Nama : Siti Muflihah
NRP : G07400019
Program Studi : Fisika

Hak cipta milik IPB University

Menyetujui,



Drs. M. Nur Indro, M.Sc.
Pembimbing I



Drs. Wagiyo H, M.T.
Pembimbing II

Mengetahui,



Dr. Kiagus Dahlan
Ketua Departemen Fisika

Tanggal Lulus :



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bogor pada tanggal 9 Desember 1982 dari ayah Muslihan dan ibu Siti Afifah Tamami. Penulis merupakan puteri kedua dari tiga bersaudara.

Tahun 2000 penulis lulus dari MA Negeri 2 Bogor dan pada tahun yang sama lulus seleksi masuk IPB melalui jalur Undangan Seleksi Masuk IPB. Penulis memilih Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi asisten praktikum Fisika Dasar dan Fisika Umum pada tahun ajaran 2000/2003. Pada tahun 2001-2002 penulis aktif dalam organisasi HIMAFI (Himpunan Mahasiswa Fisika) dan pernah menjabat sebagai Bendahara Departemen Kerohanian.

@Hanna milia IPB University



PRAKATA

Penulis memanjatkan segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Sains.

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Bahan (P3IB) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Kawasan Puspiptek, Serpong. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2003-Mei 2004 ini adalah 'Nitridisasi Bahan *Stainless Steel* dan Ketahanannya terhadap Korosi pada Temperatur Tinggi'. Judul ini diambil karena begitu banyak masalah korosi di lingkungan masyarakat terutama pada temperatur tinggi, sehingga bahan mudah sekali terkorosi. Oleh karena itulah masalah ini perlu diteliti dan ditemukan bagaimana cara penanggulangannya apabila penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik. Penelitian ini hanya terbatas sampel *Stainless Steel 312A* yang diuji korosi pada temperatur 850 °C selama 50 jam.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Drs.M.Nur Indro, M.Sc. dan Bapak Drs.Wagiyo H, M.T. selaku pembimbing, serta Bapak Drs. Sulistioso G, M. T. yang telah banyak memberi saran. Tak lupa penulis ucapkan terima kasih pada Bapak Hanedi Darmasetiawan, M.Sc. dan Bapak Setyanto Tri Wahyudi, S. Si. selaku penguji. Di samping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Bapak Bambang, Bapak Imam, Bapak Teguh, Bapak Elman, Bapak Anton, Bapak Syahril dan Ibu Ari atas bantuannya, serta kepada Bapak Akhiruddin, Bu Mersi, Pak Firman dan semua staf serta semua pengajar Departemen Fisika. Terima kasih penulis sampaikan kepada semua Laboran BKI dan BBI yang telah banyak membantu. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada mama, bapak, serta seluruh keluarga atas segala doa dan kasih sayangnya. Pada semua sahabat-sababat tercinta mahasiswa fisika 37 atas kebersamaannya juga adik-adik dan kakak-kakak mahasiswa fisika. Tak lupa pula pada mahasiswa seperjuangan dari UNILA, UNAND, ITS, Trisakti, UNAS,UAD dan UNJ atas semua bantuan dan persahabatannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangannya, karena itu diharapkan kritik serta saran yang bersifat membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Penulis juga mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Bogor, Juni 2004

Penulis

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
PENDAHULUAN	
Latar Belakang.....	1
Tujuan Penelitian.....	1
Hipotesa.....	1
TINJAUAN PUSTAKA	
Korosi.....	2
Nitridisasi.....	2
Mekanisme Pertumbuhan Lapisan Oksida.....	3
Prinsip Termodinamika pada Oksidasi.....	4
<i>Stainless Steel</i>	4
Lapisan Difusi	5
BAHAN DAN METODE	
Waktu dan Tempat Penelitian.....	5
Bahan dan Alat.....	5
Metode Penelitian.....	6
HASIL DAN PEMBAHASAN	
Sampel.....	8
Proses Nitridisasi.....	8
Pengujian Korosi.....	8
Pengujian Struktur Kristal.....	9
Pengujian Struktur Mikro.....	11
KESIMPULAN DAN SARAN	
Kesimpulan.....	12
Saran.....	12
DAFTAR PUSTAKA.....	12
LAMPIRAN.....	13

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1. Komposisi Kimia Sampel.....	8
2. Massa dan Dimensi Sampel.....	8

DAFTAR GAMBAR

1. Diagram ammonia dan pengambilan nitrogen oleh baja selama nitridisasi.....	2
2. Diagram skematik untuk mekanisme oksidasi tembaga.....	4
3. Diagram Fasa FeN.....	5
4. Preparasi Sampel.....	6
5. Mesin <i>Poles double</i>	6
6. <i>Furnace</i> Nitridisasi.....	6
7. <i>Magnetic Suspension Balance</i>	7
8. <i>X-Ray</i> Difraktometer.....	7
9. <i>Sputtering</i> untuk SEM.....	7
10. Kurva hubungan antara perubahan massa terhadap waktu.....	8
11. Pola XRD SS 312A <i>as received</i>	9
12. Pola XRD SS 312A tanpa nitridisasi.....	9
13. Pola XRD SS 312A nitridisasi 4 jam.....	10
14. Pola XRD SS 312A nitridisasi 5 jam.....	10
15. Pola XRD SS 312A nitridisasi 6 jam.....	10
16. Foto struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A tanpa n yang dioksidasi.....	11
17. Foto struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A nitridisasi 4 jam yang dioksidasi...11	
18. Foto struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A nitridisasi 6jam yang dioksidasi....11	

DAFTAR LAMPIRAN

1. Diagram Alir Penelitian.....	14
2. Diagram Ellingham Oksidasi Logam.....	15
3. Data Hasil Uji Korosi.....	16
4. Difraksi Sinar-X.....	19
5. Data <i>Peak</i> Hasil XRD SS 312A.....	20
6. Pola Hasil XRD SS 312A.....	23
7. Data JCPDS XRD.....	26

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Logam sudah sangat dikenal dan banyak diteliti oleh orang, karena logam memiliki beberapa sifat unggul yang banyak dimanfaatkan pada bidang konstruksi mesin, otomotif, industri pesawat terbang, perkapalan dan sebagainya. Pada umumnya logam merupakan material yang mudah mengalami korosi, terutama pada bidang permukaan. Oleh karena itu diperlukan suatu proses yang dapat melindungi permukaan suatu logam dari pengaruh luar. Metode perlakuan pada permukaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan proses *nitridisasi*. Nitridisasi merupakan proses perlakuan termokimia pada logam (*Steel* atau *Iron*) yang melapisi permukaannya dengan nitrogen pada temperatur 500 °C–550 °C ke dalam *fasa ferrit*. Lapisan nitrogen pada permukaan logam dapat meningkatkan ketahanannya terhadap korosi.⁽¹⁾

Korosi dapat diartikan sebagai perusakan material oleh keadaan sekitar yang bersifat *korosif*. Oleh sebagian besar orang, sering juga diartikan sebagai karat (*rust*) yang belakangan ini hanya dikhususkan pada logam besi, padahal korosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi semua logam.⁽²⁾

Perusakan material logam ini merupakan masalah paling besar pada industri kimia maupun instalasi pembangkit daya karena dapat mengurangi daya guna suatu material. Korosi material logam banyak ditemui dalam kehidupan, seperti pada kendaraan bermotor, jembatan-jembatan, peralatan rumah tangga sampai kabel-kabel di bawah laut. Korosi tidak dapat dihindari tetapi dapat dikurangi seminimal mungkin bila ahli desain teknik memahami dasar korosi dan mengetahui cara penanggulangannya. Oleh karena itu merupakan hal yang menarik untuk diteliti karena dampak yang ditimbulkan dapat menjadi beban bagi peradaban manusia, dan dapat memboroskan sumber daya alam.⁽³⁾

Pada industri modern saat ini banyak proses yang beroperasi pada temperatur tinggi sehingga mengakibatkan bahan konstruksi yang terbuat dari logam mengalami korosi dan menjadi rusak. Untuk mengatasi permasalahan ini dibutuhkan logam dan paduannya yang dapat dioperasikan dan tahan terhadap korosi pada temperatur tinggi. Berkat kemajuan teknologi saat ini telah diciptakan suatu alat baru yang dapat digunakan untuk menguji kualitas ketahanan korosi suatu bahan pada temperatur tinggi. Peralatan tersebut adalah *Magnetic Suspension Balance* (MSB) yang digunakan untuk analisa termal. Kelebihan dari alat ini yaitu sampel yang ditimbang tidak kontak langsung dengan timbangannya sehingga tidak akan mempengaruhi hasil pengujian. Dan sampel (*stainless steel*) mampu membentuk lapisan oksida yang memiliki ikatan yang kuat dengan permukaan sampel yang diuji sehingga dapat dianalisa kualitas lapisan pelindung sampel tersebut.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan mengamati adanya pengaruh dari nitridisasi terhadap ketahanan korosi *stainless steel*. Sifat-sifat yang ingin diamati dan diketahui adalah :

- Struktur mikro dan struktur kristal
- Pembentukan lapisan nitrida dan oksida
- Ketahanan korosi temperatur tinggi

Hipotesa

Perlakuan nitridisasi terhadap *stainless steel* pada temperatur tinggi (500–550 °C) dengan gas amonia (NH₃) diharapkan dapat meningkatkan ketahanan korosinya.

TINJAUAN PUSTAKA

Korosi

Korosi pada permukaan logam mudah terjadi karena reaksi logam dengan oksigen di udara. Produk korosi yang makin lama makin menebal dan menutup permukaan baja, cenderung melindungi permukaan tersebut sehingga laju korosi menurun. Pada permukaan basah, lapisan oksida meningkatkan laju korosi.⁽³⁾

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat korosi adalah :

- Temperatur
- Jumlah zat pencemar di udara (debu, gas)
- Kelembaban
- Arah dan kecepatan angin

Ketahanan korosi ditunjukkan dengan perubahan massa perunit luas (C) yang dinyatakan dengan :

$$C = \frac{W_F - W_0}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

W_F = perubahan massa akhir spesimen setelah dioksidasi (g)

W_0 = perubahan massa *background* dari alat (g)

A = luas permukaan awal spesimen sebelum diberi perlakuan (cm²)

Korosi didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya.⁽²⁾

Dapat dikatakan hampir tidak ada benda padat yang tidak dapat terkorosi atau kebal terhadap korosi, masing-masing bahan memiliki kelebihan dan kelemahan terhadap jenis-jenis korosi tertentu. Cara yang terbaik untuk mencegah korosi adalah dengan menciptakan keadaan yang dapat menetralkan terjadinya proses pengkorosian menggunakan bahan pelapis permukaan yang anti terhadap suatu jenis korosi tertentu atau menggunakan bahan yang tahan terhadap jenis korosi tertentu.

Nitridisasi

Logam (baja) yang mengabsorpsi nitrogen akan meningkat ketahanan korosinya.⁽⁵⁾ Pada temperatur 500-590 °C nitrogen bereaksi dengan Cr (kromium), Al (aluminium), Ti (titanium), Mo (molebdenum), dan tungsten.^(3,1) Nitridisasi merupakan proses perlakuan termokimia pada logam (baja atau besi) yang melapisi permukaannya dengan nitrogen pada temperatur

500 °C–550 °C. Proses perlakuan termokimia dapat diaplikasikan pada baja dan besi.⁽¹⁾

Fasa ferit memiliki struktur kristal BCC (*body center cubic*) dan *austenit* memiliki struktur kristal FCC (*face center cubic*).⁽⁶⁾

Ketebalan lapisan bergantung pada kandungan paduan dalam logam baja dan besarnya difusi. Proses nitridisasi dengan ammonia dapat dilakukan dalam bentuk gas, cair atau plasma.⁽⁷⁾

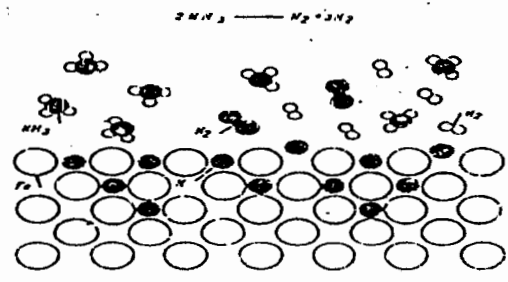
Pada saat nitridisasi sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan seluruh permukaannya diharapkan terjadi kontak dengan gas ammonia. Penampakan dari bagian yang telah dinitridisasi ini biasanya berwarna abu-abu atau terkadang terlihat seperti bayang-bayang kekuning-kuningan, biru atau ungu.⁽¹⁾

Sifat-sifat yang dihasilkan baja setelah dinitridisasi adalah ketahanan korosinya meningkat dan stabilitas dimensinya (karena setelah baja dinitridisasi, kekerasannya akan meningkat sehingga tidak mudah terdeformasi bentuk dimensinya).⁽¹⁾

Ketahanan korosi pada daerah difusi ditentukan oleh konsentrasi elemen pembentuk nitrida, (seperti: Al, Cr, Mo) pada permukaan. Faktor utama yang mempengaruhi ketebalan lapisan nitrida adalah waktu pengujian, temperatur, aktivitas nitrogen dan komposisi baja.⁽¹⁾

Nitridisasi sampel dilakukan pada tungku dengan temperatur 550 °C yang dialiri gas ammonia (NH₃). Ammonia pada temperatur tersebut akan terdisosiasi sesuai dengan persamaan : $2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2 \dots\dots\dots(2)$

Menkevic dan Sorokin⁽⁸⁾ merekomendasikan campuran 20 % ammonia dan 80 % nitrogen. Campuran ini menghasilkan produk yang lebih tangguh, hasil yang sama juga dapat dicapai dengan peningkatan derajat disosiasi ketika nitridisasi dengan ammonia saja atau dengan penambahan hidrogen.⁽¹⁾



Gambar 1. Disosiasi ammonia dan pengambilan nitrogen oleh baja selama nitridisasi.⁽¹⁾

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Difusi merupakan proses berpindahnya atom-atom ke dalam material yang dapat terjadi melalui gas, cair, dan padat. Pada proses nitridisasi baja akan terjadi difusi atom nitrogen ke dalam baja tersebut, sehingga terjadi fasa baru yang dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja tersebut.

Kedalaman difusi atom-atom gas reaktif dalam bahan ⁽⁹⁾ : $x = 2\sqrt{Dt}$ (3)

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

D = koefisien difusi sebagai fungsi temperatur

D_0 = koefisien difusi mula-mula (m^2/s)

Untuk N dalam Fe ($5 \times 10^{-7} m^2/s$)

Q = energi aktivasi atom berdifusi (kJ/mol)

Untuk N dalam Fe (75 kJ/mol)

R = tetapan gas universal

8,314 J/mol.K

T = temperatur (K)

t = lamanya proses (s)

Sebagai contoh besarnya kedalaman difusi N dalam Fe. Dengan mensubstitusikan ke persamaan (4) dihasilkan :

$$D = (5 \times 10^{-7} m^2/s) \exp [(-75 \times 10^3 J/mol) / (8,314 J/mol.K \times 823 K)]$$

$$= 8,6827 \times 10^{-12} m^2/s$$

Bila waktu proses nitridisasi dilakukan selama 2 jam sehingga $t = 7200$ s maka kedalaman difusi dalam sampel sebesar :

$$x = 2\sqrt{Dt}$$

$$= 2[(8,6827 \times 10^{-12} m^2/s)(7200s)]^{1/2}$$

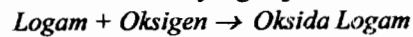
$$= 0,5 \text{ mm}$$

Kemampuan baja untuk menyerap nitrogen disebut *nitridability*. Baja yang mengandung elemen pembentuk nitrida (Al, Cr, Mo) akan menghasilkan *nitridability* yang tinggi, untuk komposisi yang berbeda maka *nitridability* juga berbeda tergantung pada difusifitas masing-masing atom. Dengan naiknya temperatur akan menambah energi atom untuk bergetar dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi.

Mekanisme Pertumbuhan Lapisan Oksida

Oksigen mudah bereaksi dengan kebanyakan logam, meskipun energi termal yang dibutuhkan untuk menghasilkan laju oksidasi bervariasi, untuk logam-logam yang berbeda pada temperatur yang sama..⁽²⁾

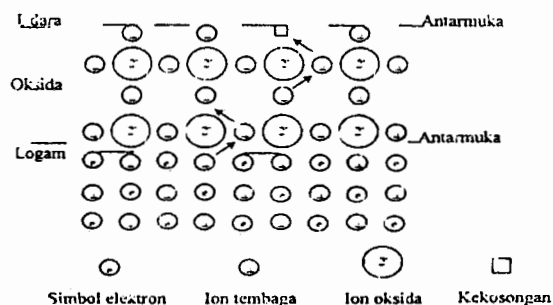
Mekanisme oksidasi yang terjadi adalah :



Oksida oksida logam sebagian besar merupakan senyawa-senyawa ionik. Pada senyawa ini, ion-ion oksida tertata dalam baris-baris beraturan menurut kisi kristal masing-masing. Beberapa oksida yang kelebihan ion-ion logam dan ion-ion itu ditempatkan pada posisi intersiti, dalam hal ini oksida disebut tipe pembawa muatan negatif. Contoh oksida tipe ini adalah ZnO, CdO, dan Al₂O₃. Sementara itu oksida lain ada yang kekurangan ion-ion logam dan tempat-tempat kosong itu berada di kisi kation (ion logam), oksida ini disebut tipe pembawa muatan positif. Contoh oksida tipe ini adalah FeO, Cu₂O, Cr₂O₃, dan NiO.⁽²⁾

Difusi unsur-unsur yang berbeda dapat terjadi melalui sebuah lapisan oksida tipe pembawa muatan positif seperti Cu₂O, yang diharapkan bertindak sebagai isolator.

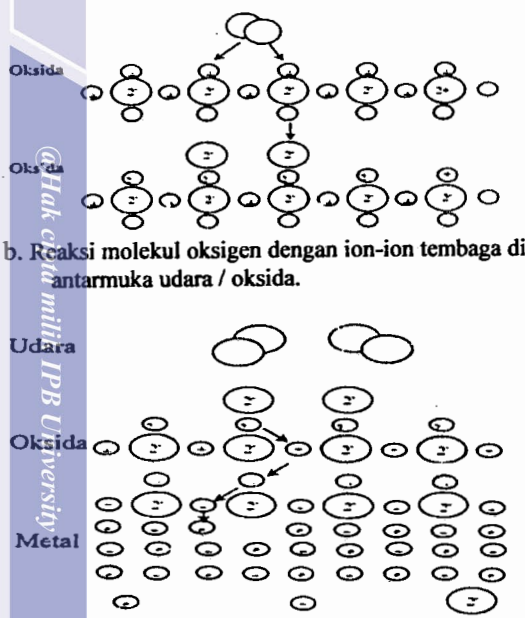
Dalam struktur kristal Cu₂O kekosongan terdapat pada sub kisi ion tembaga bermuatan tunggal, tetapi karena secara keseluruhan muatan listrik harus netral, struktur kristal mempunyai ion-ion tembaga bermuatan ganda dalam jumlah yang cukup. Jumlah kekosongan khususnya lebih besar pada antar muka udara/oksida dibanding pada antar muka logam/oksida, adanya gradien konsentrasi kekosongan ini menyebabkan ion-ion tembaga bermigrasi ke arah luar, ke antarmuka udara/oksida dengan gerak langkah-demi-langkah. Kekosongan akan terdifusi ke arah dalam yaitu ke antarmuka logam/oksida, karena elektron-elektron bebas tersedia di situ. Logam akan kelebihan elektron dan atom-atom oksigen akan menempel dengan sendirinya ke lapisan permukaan. Sebagai contoh yang inudah adalah ion Cu⁺ seperti dalam gambar berikut.⁽²⁾



a. Difusi ion Cu⁺ dari logam ke antarmuka udara/oksida berkat adanya kekosongan kation.

Tidak cita milik IPB University

IPB University



c. Difusi muatan positif ke arah dalam (elektron ke arah luar) untuk menetralkan kelebihan elektron dalam logam.
Gambar 2. Diagram skematik untuk mekanisme oksidasi tembaga.

Prinsip Termodinamika pada Oksidasi

Penentuan kondisi produk korosi yang terbentuk seperti pada oksidasi paduan dengan memplot reaksi energi bebas standar ΔG^0 (kJ/mol) yang merupakan fungsi dari temperatur biasanya dikenal dengan diagram Ellingham yang dapat menunjukkan stabilitas relatif logam dan produk oksidasinya.⁽¹⁰⁾

Oksida yang memiliki energi bebas lebih rendah dari bentuk kestabilan termodinamikanya memiliki kestabilan termodinamik yang lebih tinggi. Letak garis yang lebih rendah menunjukkan oksida yang lebih stabil.⁽¹⁰⁾ Kestabilan termodinamik dari oksida yang berbeda bisa dilihat dengan diagram Ellingham (Lampiran 2).

Tenaga pendorong untuk reaksi kimia dalam bentuk oksida logam adalah energi bebas Gibbs sebagai berikut :⁽¹¹⁾

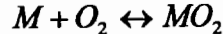
$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K \dots \dots \dots (5)$$

$\Delta G = 0$, kesetimbangan termodinamika

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- ΔG = energi bebas Gibbs
- ΔG^0 = energi bebas Gibbs standar
- R = konstanta gas
- T = temperatur (K)
- K = konstanta kesetimbangan



$$p_{O_2} = e^{\Delta G^0 / RT} \dots \dots \dots (7)$$

$$\ln p_{O_2} = \frac{\Delta G^0}{RT} \dots \dots \dots (8)$$

Nilai p_{O_2} (tekanan parsial O_2) didapat dari diagram dengan membuat garis lurus dari titik O melalui garis energi bebas pada temperatur yang diinginkan memotong skala pada sisi kanan bertanda p_{O_2} .

Stainless Steel

Stainless steel adalah suatu bahan logam baja tak mudah berkarat (tahan terhadap korosi). *Stainless steel* merupakan paduan besi yang mengandung sekurang-kurangnya 10,5 % Cr. Elemen lainnya adalah nikel, molibdenum, tembaga, titanium, aluminium, silikon, niobium, nitrogen, sulfur, dan selenium.⁽¹²⁾

Baja merupakan sejumlah paduan yang terutama terdiri dari besi dengan komposisi karbon yang berubah-ubah hingga 1,7 % dan ini akan mempengaruhi fasanya, dalam beberapa kasus mengandung sejumlah unsur lain seperti mangan, silikon, kromium, molibdenum dan nikel. Diagram fasa akan menunjukkan bagaimana fasa-fasa terbentuk pada temperatur dan komposisi berbeda.⁽⁶⁾

Stainless steel mengandung 12-30 % Cr, 0-22 % Ni, sedikit C, Nb, Cu, Mo, Se, Ti, dan Ta. Sifat yang dimiliki yaitu tahan korosi dan tahan temperatur tinggi, tidak mudah terkontaminasi, mudah dibuat ke dalam bentuk yang kompleks. Tiga tipe dasar *stainless steel*: *austenit*, *martensit*, *ferit*.⁽¹³⁾

Klasifikasi bahan berdasarkan fasa ini, biasanya dibagi menjadi lima bagian : *martensit*, *ferit*, *austenit*, *duplex (ferit-austenit)*, dan *presipitasi-hardening*. Klasifikasi ini berdasarkan kandungan elemennya dan komposisinya. Setiap komposisinya akan mempengaruhi bentuk dari struktur mikronya.⁽¹²⁾

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

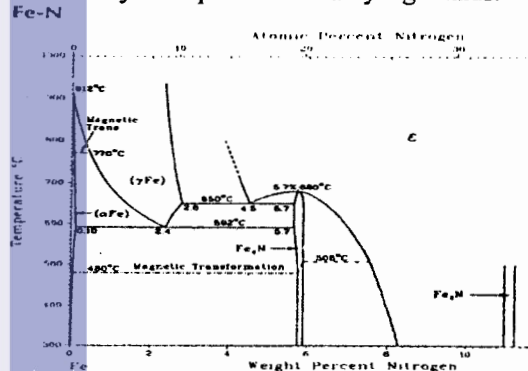
Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah SS 312A yang memiliki komposisi 2,00 % Mn, 1,00 % Si, 18 - 20 % Cr, 9,00 % Ni, 0,045 % P, 0,03 % S, 0,15 % C, 57,775 % Fe; tipe ini termasuk *duplex* yang merupakan gabungan antara *ferit* dan *austenit*.⁽¹⁴⁾

Stainless steel banyak digunakan dalam bidang industri, khususnya industri yang berhubungan langsung dengan zat-zat kimia (seperti misalnya asam sulfat), pengkilangan, reaktor, pompa air maupun perlengkapan rumah tangga. SS 312A sering digunakan untuk pipa pendingin temperatur tinggi pada reaktor, tungku temperatur tinggi.

Lapisan Difusi (*Diffusion Layer*)

Struktur lapisan hasil nitridisasi adalah lapisan persenyawaan (*compound layer*) dan lapisan difusi (*diffusion layer*). Lapisan persenyawaan pada permukaan terutama terdiri dari lapisan nitrida tipe Fe_4N dan sebagai tambahan juga terbentuk nitrida-nitrida khusus pada baja yang mengandung elemen pembentuk nitrida seperti Al, Cr, Mo, V dan Ti. Sedangkan lapisan difusi yang terletak di bawah lapisan persenyawaan terbentuk dari larutan penyisipan (*interstisi*) nitrogen dalam bentuk nitrida.⁽¹⁵⁾

Komposisi dari lapisan persenyawaan dipengaruhi oleh atmosfer nitridisasi. Temperatur yang tinggi dan waktu yang lebih lama akan menghasilkan pertumbuhan lapisan persenyawaan yang meningkat, sedangkan struktur dari lapisan difusi dipengaruhi oleh temperatur nitridisasi, jenis baja yang dinitridisasi dan pendinginan temperatur nitridisasi ke temperatur ruang. Temperatur nitridisasi yang tinggi memungkinkan untuk terbentuknya distribusi nitrida yang besar atau kasar, temperatur rendah memungkinkan terbentuknya dispersi nitrida yang halus.⁽¹⁵⁾



Gambar 3. Diagram fasa Fe-N.

Pembentukan fasa nitrida kasar seperti fasa Fe_4N dan Fe_2-3N sangat ditentukan oleh jumlah N yang dideposisikan.⁽⁹⁾

Saat nitrogen yang terkandung antara 0,1-6,0 % maka akan terbentuk fasa nitrida $\gamma'(Fe_4N)$ dan jika konsentrasi nitrogen lebih dari 6.0 % maka fasanya akan berubah menjadi nitrida $\epsilon (Fe_{2-3}N)$. Fe_4N dan $Fe_{2-3}N$ akan terlihat sebagai lapisan permukaan yang berwarna putih yang biasa disebut *white layer*, jika dilihat di bawah mikroskop *white layer* merupakan *compound layer*. Dengan meningkatnya ketebalan *white layer* selama nitridisasi mengakibatkan difusi nitrogen menjadi lebih dalam pada baja.⁽¹⁾

Pada proses pelapisan ada atom asing yang dapat menyisip pada susunan atom substrat membentuk lapisan tipis pada permukaan substrat, karena susunan atom substrat sudah terisi penuh. Lapisan tipis ini akan mencegah interaksi antara permukaan logam dengan lingkungan yang korosif. Dengan demikian lapisan tipis tersebut selain meningkatkan kekerasan juga meningkatkan ketahanan korosi.⁽⁴⁾

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Juli 2003 sampai selesai sekitar bulan Mei 2004. Bertempat di Laboratorium Bidang Bahan Industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Bahan (P3IB), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Puspitpek, Serpong.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Bahan logam *stainless steel* tipe SS 312 A
- Amplas dengan *grit* 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500

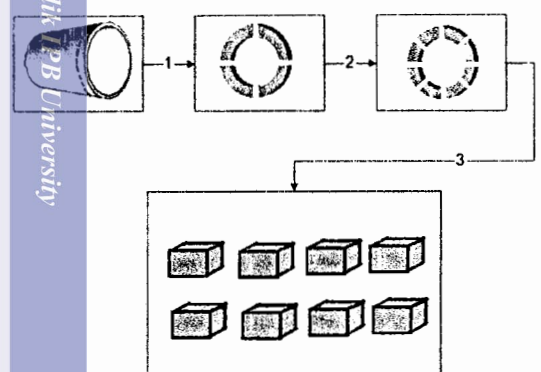
Alat yang digunakan adalah :

- Mesin Poles *single* dan *double*
- *Furnace*, tabung *furnace*, *selang* dan pompa
- *Termocouple* dan *Temperature Controller*
- *Magnetic Suspension Balance* (MSB), *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
- *Ultrasonic Cleaner* tipe *Telsonic* Switzerland
- Gergaji besi, dan *Abrasive Cutter*
- Timbangan, jangka sorong, pinset, *hairdryer*, gelas ukur

Metode Penelitian

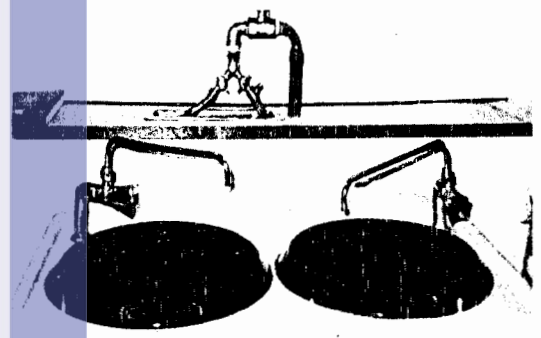
1. Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan adalah *stainless steel* dengan tipe SS 312A berbentuk silinder panjang berlubang dengan tebal $\pm 0,35$ cm yang dipotong menggunakan gergaji besi menjadi silinder dengan tinggi ± 1 cm, lalu dipotong lagi sehingga akhirnya sampel menjadi 8 potong bentuk balok. Sesuai dengan gambar berikut :



Gambar 4. Preparasi sampel.

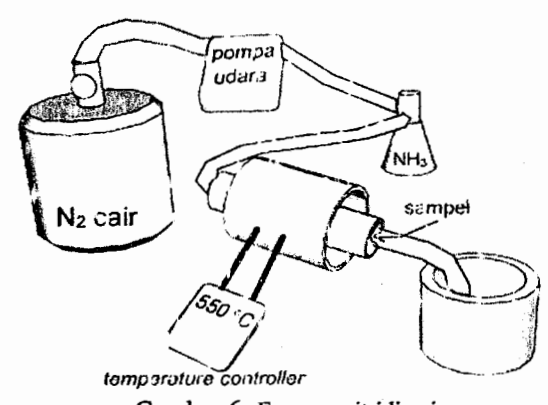
Semua sampel mulai dipoles dengan mesin poles dari grit 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500 sampai permukaan sampel halus dan tak ada goresan.



Gambar 5. Mesin Poles double.

2. Proses Nitridisasi

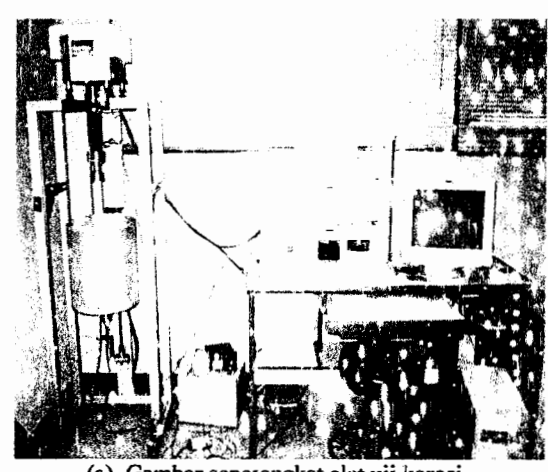
Proses nitridisasi dengan cara mengalirkan gas NH_3 pada sampel (temperatur $550^{\circ}C$) dengan variasi waktu lamanya selama dua, tiga, empat, lima dan enam jam. Tidak diperlukan *quenching* (pendinginan secara cepat), sehingga nitridisasi menghasilkan distorsi minimum dan pengontrolan dimensi yang baik. ^(7,9)



Gambar 6. Furnace nitridisasi.

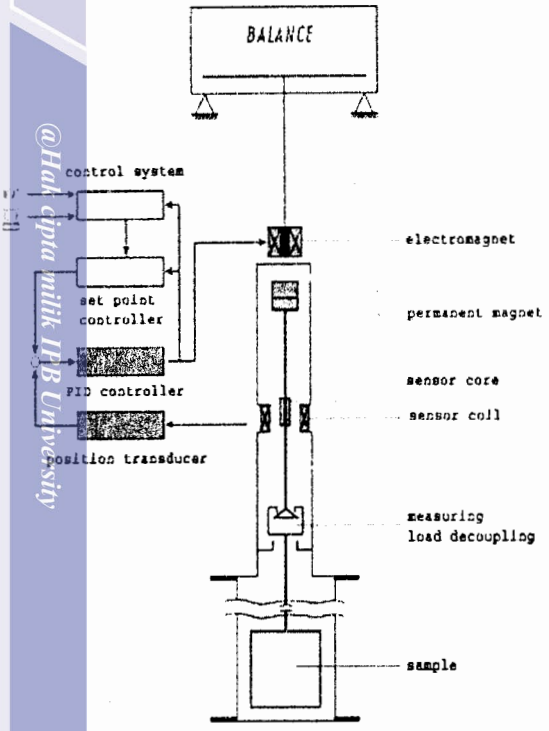
3. Pengujian Korosi dengan MSB (*magnetic suspension balance*)

Pengujian korosi dengan menggunakan perangkat peralatan analisa termal MSB merk *Rubotherm Präzisionsmesstechnik GMBH*. Sampel dan cawan secara bebas tergantung pada *suspensi* tanpa kontak dengan timbangan. Berat sampel dapat diukur dengan timbangan dan terpisah dari suspensi. Oleh karena itu, massanya berubah terhadap waktu dan dapat diukur pada temperatur tinggi, tekanan tinggi, gas yang korosif (perusak). Berat sampel maksimal pada timbangan ini adalah 25 g, temperatur maksimalnya $1100^{\circ}C$. Pengujian ketahanan korosi dengan MSB ini dilakukan selama 50 jam temperatur sekitar $850^{\circ}C$. ⁽¹⁶⁾



(a). Gambar seperangkat alat uji korosi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PID : Proporsional Integral Different
 (b). Skema gambar MSB
 Gambar 7. Magnetic Suspension Balance (MSB).

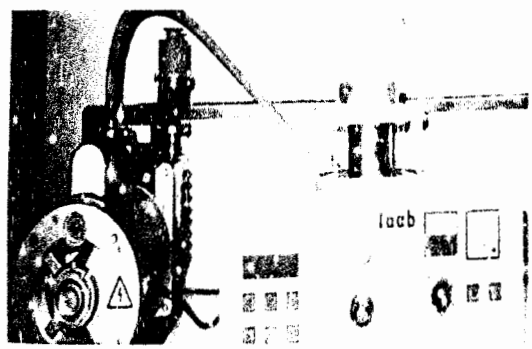
4. Pengujian Struktur Kristal
 Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *X-Ray Diffractometer* "Shimadzu" tipe XD-610. Difraksi sinar-x merupakan suatu teknik yang dipakai dalam melakukan karakterisasi material kristal seperti logam, keramik, polimer, senyawa organik dan anorganik. Teknik ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa pada bahan, jenis senyawa yang terkandung dalam bahan (secara kualitatif) dan untuk menentukan struktur kisi kristal, yaitu kristal dan geometri sel satuan, posisi setiap atom dengan konstanta kisi kristalnya (a), jarak antar kisi atom (d) dari data 2θ dan jari-jari atom suatu bahan logam. Dalam melakukan teknik ini diperoleh data berupa intensitas (I), posisi kisi (2θ) dan bentuk puncak ($peak$) dari bahan. Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik dengan $\lambda = 0,5 - 2,5 \text{ \AA}$. Digunakan teknik difraksi sinar-x karena λ sinar-x memiliki orde yang hampir sama dengan konstanta kisi kristalnya (a).



Gambar 8. X-Ray Diffractometer.

5. Pengujian Struktur Mikro
 Pengujian ini dilakukan baik yang telah dinitridisasi maupun tidak. Pengujian ini menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang merupakan salah satu alat yang paling penting untuk mempelajari struktur mikro dari suatu bahan.

Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro dengan menggunakan SEM, semua sampel yang telah dilakukan uji korosi harus dilapisi (*coating*) dengan lapisan emas (Au) terlebih dahulu selama 10 menit.



Gambar 9. Sputtering untuk SEM.

Tujuan dari pelapisan untuk SEM adalah agar lapisan oksida yang terbentuk di atas permukaan sampel tidak mudah terkelupas dan sampel menjadi konduktif sehingga elektron yang menembaki sampel dapat dinetralisir melalui *grounding*, sehingga tidak timbul panas dan penumpukan muatan (elektron) yang dapat berakibat '*charging*'. Setelah tampak struktur mikronya lalu diambil gambarnya dengan perbesaran tertentu.

SEM memiliki resolusi perbesaran lebih besar dari mikroskop optik sekitar 100 \AA , dengan perbesaran $10x - 150.000x$ dan kedalaman fokus (*depth of field*) dari $1 - 2000 \mu\text{m}$.⁽¹⁴⁾

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sampel

Tabel 1. Komposisi kimia sampel

Komposisi (%)	Fe	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
SS 312A	66,4-70,4	18,0-20,0	8,0-11,0	2,00	0,75	0,04	0,03

Tabel 2. Massa dan dimensi sampel

Kode Sampel	Massa (g)	Luas (cm ²)
1.nn	2,3063	0,9930
2.2n	2,6240	1,1802
3.3n	1,1935	0,4622
4.4n	1,1725	0,3619
5.5n	1,1032	0,3353
6.6n	2,1091	1,0500

Keterangan :

- 1.nn : sampel tanpa nitridisasi
- 2.2n : sampel nitridisasi 2 jam
- 3.3n : sampel nitridisasi 3 jam
- 4.4n : sampel nitridisasi 4 jam
- 5.5n : sampel nitridisasi 5 jam
- 6.6n : sampel nitridisasi 6 jam

Tabel 2 merupakan hasil pengukuran sampel yang telah dipoles yang akan diberi perlakuan panas dan dioksidasi. Proses pemolesan selain untuk memperhalus permukaan sampel juga dapat meningkatkan ketahanan korosi, untuk memperbaiki lapisan nitrida dan oksida yang terbentuk saat proses nitridisasi karena akan mempermudah berdifusinya nitrogen ke dalam sampel.

2. Proses Nitridisasi

Pada proses pembakaran dalam tungku (*furnace*), NH₃ terurai dan hidrogennya dapat meningkatkan reaksi pembakaran, sedangkan unsur nitrogennya tidak bereaksi. Peretakan dan penyisipan unsur nitrogen dapat meningkatkan ketahanan korosi pada sampel.

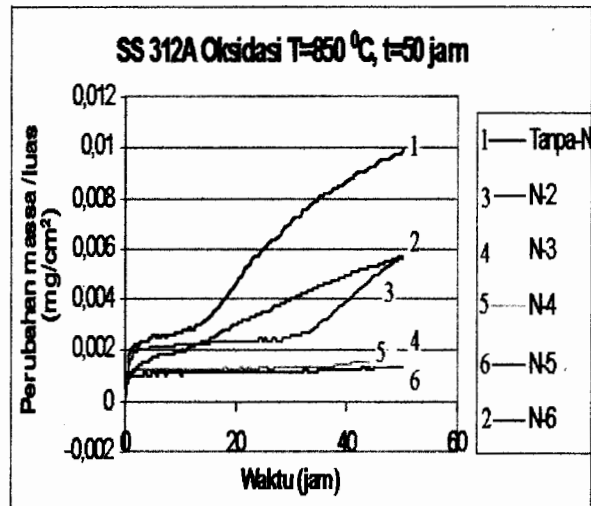
Ammonia adalah *gas nitriding* yang biasa digunakan, khususnya untuk pengerasan baja. Pembentukan lapisan nitrida terjadi pada temperatur 550 °C. Molekul nitrogen terbentuk dari disosiasi ammonia, *potensial nitriding* pada logam tereduksi. Disosiasi ammonia akan menghasilkan tiga bagian H₂ dan satu bagian N₂. Molekul nitrogen ini dapat menjadi nitrida yang baik ketika temperaturnya tinggi.

Pada baja yang telah dinitridisasi pada temperatur 550 °C terbentuk sebuah lapisan pelindung nitrida (*white layer*) berupa Fe₄N, Fe₂₋₃N yang berfungsi sebagai perisai dan akan melindungi permukaan baja dari korosi karena tidak mudah bereaksi dengan oksigen di lingkungan.

Pada proses nitridisasi terjadi penambahan atom asing nitrogen pada sampel. Penambahan atom asing ini dapat dilakukan dengan memanaskan logam yang akan menyebabkan atom-atom logam bervibrasi sehingga mudah dimasuki atom asing atau atom asing tersebut diberi tenaga dengan medan listrik yang disisipkan pada susunan atom logam.

Atom asing dengan ukuran lebih besar masih dapat menyisip pada susunan atom logam lainnya, bila susunan atom logam dipanasi atau atom asing dipercepat dengan medan listrik. Distorsi akan mempersulit pergerakan dislokasi, diperlukan gaya yang lebih besar untuk menggerakkan atom dalam kristal. Sehingga bahan akan meningkat kekuatan dan kekerasannya.

3. Pengujian Korosi



Gambar 10. Kurva hubungan antara perubahan massa terhadap waktu.

Uji korosi ini dilakukan dengan proses oksidasi pada temperatur 850 °C selama 50 jam, karena selama waktu perlakuan ini karbida Cr pada baja mulai stabil. Pada temperatur 850 °C terjadinya proses karbida Cr, karena kromium bereaksi dengan karbon maka terjadi pengurangan kromium. Kromium adalah elemen

penting dalam *stainless steel* karena oksida Cr merupakan oksida paling stabil yang terbentuk pada *stainless steel* 312A, bersifat sebagai pelindung pada permukaan sehingga tidak mudah teroksidasi. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa lapisan oksida yang dihasilkan sampel *stainless steel* tanpa nitridisasi lebih besar dibandingkan dengan yang dinitridisasi, hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan massa persatuan luas yang lebih besar.

Sampel yang telah dinitridisasi lebih tahan korosi bila dibandingkan dengan yang tidak dinitridisasi. Dari kurva dapat dilihat bahwa *stainless steel* yang dinitridisasi selama 5 jam lebih tahan korosi dibandingkan dengan yang dinitridisasi selama 2,3, dan 4 jam. Bila dibandingkan lagi dengan *stainless steel* tanpa nitridisasi ternyata lebih tahan korosi, karena pada umumnya baja mempunyai ketahanan korosi yang meningkat setelah dinitridisasi.

Kurva tersebut didukung oleh data hasil uji korosi pada Lampiran 3 yang menunjukkan bahwa hasil nitridisasi 4 jam, setelah lima jam pertama pada sampel baja mulai stabil begitu juga dengan hasil nitridisasi 3 jam dan 5 jam. Sedangkan untuk sampel *stainless steel* tanpa nitridisasi, nitridisasi 2 jam dan 6 jam pada sepuluh jam pertama masih menunjukkan pertambahan massa.

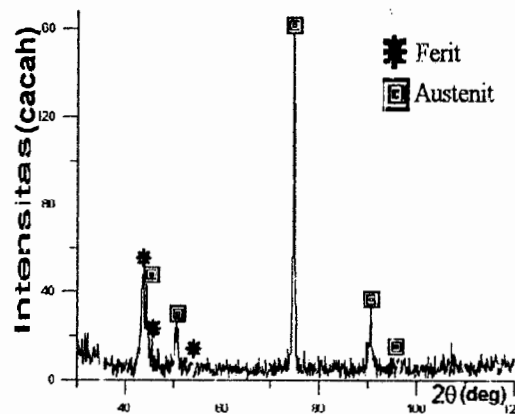
Temperatur yang digunakan selama nitridisasi juga dapat berpengaruh untuk mengembalikan ke bentuk yang tidak stabil pada *stainless steel*, sehingga memungkinkan terjadinya korosi selama perlakuan. Menurut teori hubungan antara waktu proses nitridisasi dengan kedalaman difusi, seharusnya data hasil *stainless steel* yang dinitridisasi selama 6 jam lebih tahan korosi dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan pada waktu 6 jam kedalaman difusi nitrogen pada baja akan semakin besar dan kurva laju korosinya cenderung konstan yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan berat persatuan luas yang besar.

Ketahanan korosi yang sangat baik pada bagian permukaan baja yang telah dipoles dan dinitridisasi. Untuk *stainless steel* yang dinitridisasi selama 6 jam ternyata lebih korosif, hal ini dikarenakan selama perlakuan nitridisasi pada permukaannya terbentuk lapisan berupa karbida krom dan kandungan Cr-nya membentuk nitrida yang akan meningkatkan laju korosi pada baja. Adanya pengendapan

nitrida atau karbida Cr yang menyebabkan terjadinya pengurangan Cr pada *stainless steel*.

4. Pengujian Struktur Kristal

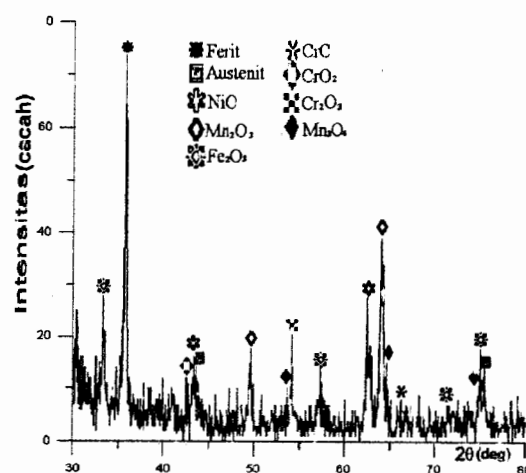
Hasil Data XRD sampel *stainless steel* 312 A



Gambar 11. Pola XRD SS 312A as received.

Dari Gambar 11 menunjukkan bahwa *stainless steel* 312A merupakan *duplex* (paduan ferit dan austenit), dengan adanya kandungan ferit bertambah maka akan meningkatkan kandungan Cr pada fase- γ (*austenit*) sehingga akan membuat sampel memiliki sifat tahan terhadap korosi temperatur tinggi.

Sampel yang telah dioksidasi tanpa nitridisasi :



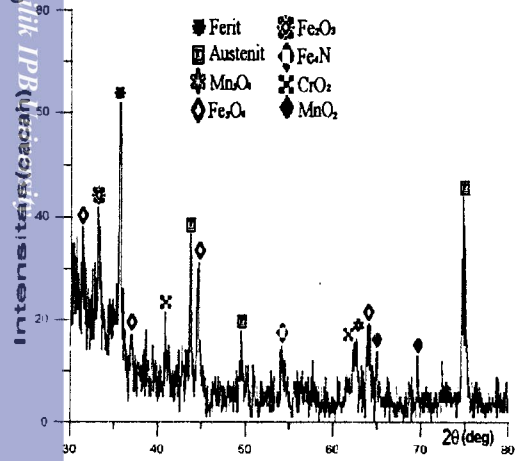
Gambar 12. Pola XRD SS 312A tanpa nitridisasi.

Pada Gambar 12 menunjukkan adanya pembentukan karbida Cr, yang dapat mengakibatkan terjadinya pengurangan oksida Cr sebagai pelindung pada permukaan dan

menyebabkan sampel *stainless steel* tidak tahan korosi.

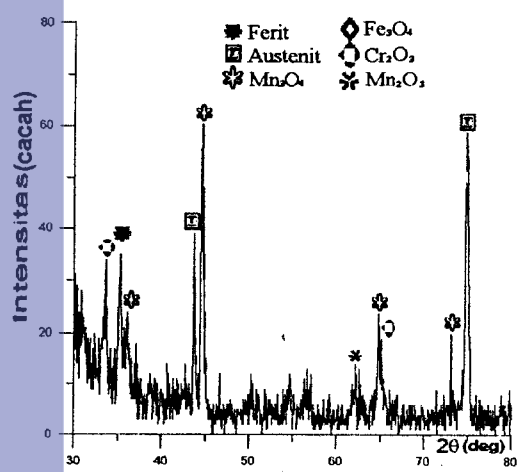
Pada *stainless steel* yang telah dinitridisasi terbentuk lapisan nitrida berupa Fe_xN_y dan Cr_xN_y , sedangkan yang telah diuji korosi dengan oksidasi terbentuk lapisan oksida logam berupa Fe_xO_y , Cr_xO_y , Mn_xO_y , dan NiO .

Berikut adalah pola identifikasi hasil data XRD *stainless steel* 312A yang dinitridisasi dengan lamanya waktu 4 jam, 5 jam dan 6 jam juga hasil oksidasi :



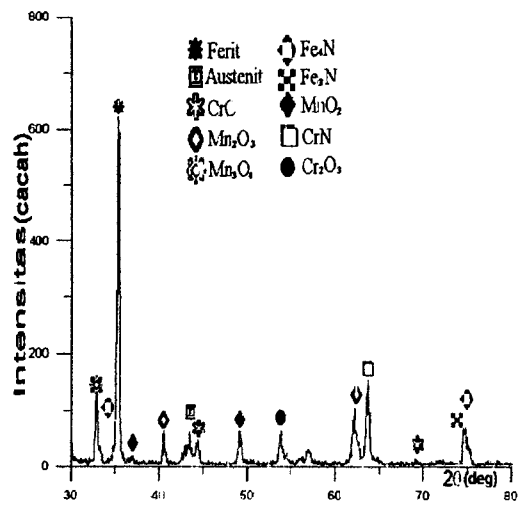
Gambar 13. Pola XRD SS 312A nitridisasi 4 jam.

Pada Gambar 13 menunjukkan terbentuknya Fe_3N dan oksida Cr yang berfungsi sebagai pelindung, yang dapat melindungi permukaan *stainless steel* sehingga lebih tahan korosi.



Gambar 14. Pola XRD SS 312A nitridisasi 5 jam.

Pola di atas menunjukkan puncak-puncak yang rendah dan fasa yang nampakpun tidak banyak, hal ini disebabkan ukuran sampel yang kecil dibandingkan sampel yang lain (Tabel 2).



Gambar 15. Pola XRD SS 312A nitridisasi 6 jam.

Pada Gambar 14 terlihat adanya pembentukan karbida dan nitrida Cr walaupun setelah dioksidasi, lapisan oksida Cr dan nitrida Fe-nya tidak lagi dapat melindungi *stainless steel* dari lingkungan luar sehingga akan menyebabkan laju korosinya akan meningkat dan akan cenderung lebih korosif.

Oksida Cr merupakan lapisan oksida yang lebih stabil dari oksida Ni dan oksida Fe (Lampiran 2), sehingga bersifat lebih tahan terhadap korosi pada temperatur tinggi (di atas $540^{\circ}C$), tetapi oksida Cr dan nitrida Fe akan kehilangan kemampuan sifat pelindungnya pada temperatur $1000^{\circ}C$ atau lebih besar, tergantung pada paduan masing-masing sampel.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

5. Pengujian Struktur Mikro

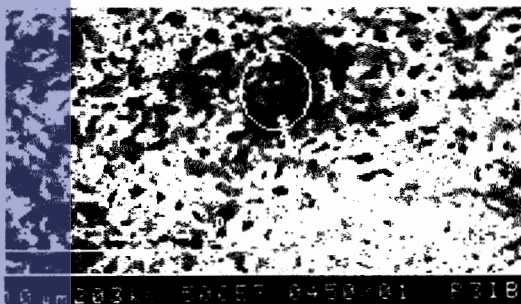
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan SEM untuk *stainless steel* 312A hasil oksidasi tanpa nitridisasi, nitridisasi 4 jam, dan nitridisasi 6 jam. Sampel yang dinitridisasi 3 jam dan 5 jam tidak difoto dengan SEM karena sudah diwakili oleh sampel nitridisasi 4 jam. Dari hasil uji korosi, ketiga sampel ini ketahanan korosinya tidak berbeda jauh sehingga bentuk struktur mikronya sama.



Gambar 16. Struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A tanpa nitridisasi yang dioksidasi.

Struktur mikro ini merupakan hasil oksidasi yang dilakukan pada temperatur tinggi selama 50 jam, karena selama waktu perlakuan ini karbida Cr pada baja mulai stabil. Pada temperatur 850 °C mulai terjadinya proses karbida Cr, karena Cr bereaksi dengan C maka terjadi pengurangan Cr di daerah batas butir sehingga sampel akan mudah teroksidasi.

Dari hasil foto dapat dilihat adanya pengendapan karbida Cr berwarna putih (yang dilingkari) dan terdapat pori-pori (*pores*) permukaan yang lebih besar, sehingga akan mudah teroksidasi dan menghasilkan lapisan oksida sampel *stainless steel* tanpa nitridisasi lebih besar dibandingkan dengan *stainless steel* yang dinitridisasi 4 jam.



Gambar 17. Struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A nitridisasi 4 jam yang dioksidasi.

Pada Gambar 17 menunjukkan tidak adanya pengendapan karbida dan nitrida Cr setelah *stainless steel* dinitridisasi 4 jam, juga memiliki pori-pori permukaan (yang dilingkari) lebih kecil dibandingkan Gambar 16 dan 18 sehingga lebih sulit teroksidasi dan cenderung tahan korosi.



Gambar 18. Struktur mikro dengan SEM perbesaran 5000x SS 312A nitridisasi 6 jam yang dioksidasi.

Untuk *Stainless steel* yang dinitridisasi selama 6 jam ternyata lebih korosif atau ketahanan korosinya menurun, hal ini dikarenakan selama perlakuan nitridisasi pada permukaannya terbentuk lapisan berupa nitrida Cr dan karbida Cr yang akan meningkatkan laju korosi pada *stainless steel*, hal ini ditunjukkan pada Gambar 18.

Adanya pengendapan nitrida dan karbida Cr menyebabkan terjadinya pengurangan Cr yang merupakan elemen paduan paling penting untuk meningkatkan ketahanan korosi pada *stainless steel*.



KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil uji korosi pada temperatur 850 °C dengan media udara selama 50 jam, diperoleh ketahanan korosi bahan SS 312A yang paling baik adalah hasil nitridisasi pada temperatur 550 °C selama 5 jam.
2. Sampel SS 312A yang dinitridisasi pada temperatur 550 °C lebih tahan korosi bila dibandingkan dengan yang tidak dinitridisasi.
3. Nitridisasi dengan NH₃ pada temperatur 550 °C membentuk lapisan pelindung berupa nitrida, yang dapat meningkatkan ketahanan korosi temperatur 850 °C pada SS 312A.
4. Sampel SS 312A yang dinitridisasi selama 5 jam lebih tahan korosi dibanding dengan yang 2, 3, dan 4 jam.
5. SS 312A yang dinitridisasi akan meningkat ketahanan korosinya selama tidak terbentuk nitrida atau karbida Cr.
6. SS 312A yang dinitridisasi selama 6 jam menurun ketahanan korosinya karena terbentuk nitrida dan karbida Cr.

Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan nitridisasi lebih dari enam jam untuk membuktikan ketahanan korosi yang optimal pada SS 312A yang dinitridisasi selama 5 jam, disertai uji mekanik kekerasan mikro dengan *Vickers Hardness* untuk mengetahui tingkat kekerasan bahan tersebut, uji komposisi dan pembentukan fase kedua dengan SEM-EDXA (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*).

DAFTAR PUSTAKA

1. Karl-Erik Thelning. 1974. "Steel and Its Heat Treatment". Bofors Handbook, Ed ke-2. Butterworths London dan Boston.
2. Trethewey, K.R. dan Chamberlain, J. 1988. "Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan", Alih Bahasa Widodo. Jakarta, Gramedia Pustaka Utama.
3. Sri Widharto. 2001. "Karat dan Pencegahannya". Edisi ke-2. Jakarta, PT. Pradaya Paramita.
4. Lawrence H. Van Vlack-Sriati Djaprie. 1995. "Ilmu dan Teknologi Bahan". Ed ke-5. Jakarta, Erlangga.
5. ASM Handbook Committee. 1976. "Nondestructive Inspection and Quality Control". Metals Handbook Volume 11, Ed ke-8
6. Alan Isaacs BSc, PhD. 1995. "Kamus Lengkap Fisika, Oxford". Jakarta, Erlangga.
7. Department of Trade and Industry. 1985. "Wear Resistant Surface in Engineering". London.
8. Minkevic, A.N. dan Sorokin, J U.V. 1997. 'The Nitriding of Steels in a Mixture of Nitrogen and Ammonia'. Harterei-Techn.Mitt., 25. Jerman.
9. Smith W.F. 1993. "Structure and Properties of Engineering Alloy". Ed ke-2. Mc.Graw Hill Inc.
10. Pierre R. Roberge. 2000. "Handbook of Corrosion Engineering". Mc.Graw-Hill. New York.
11. Gaskell D. R. 1981. "Introduction to Metallurgical Thermodynamics". Mc.Graw-Hill. New York.
12. ASM International Properties and Selection. 1990. "Irons, Steels, and High Performance Alloys". Metals Handbook Volume 1, Ed ke-10.
13. Philip A. Schwetzer. 1989. "Corrosion and Corrosion Protection Handbook". Ed ke-2. Newyork.
14. ASM International. 1992. "Metallography and Microstructures". ASM Handbook Volume 9. The Materials Information Society.
15. ASM International. 1992. "Friction, Lubrication and Wear Technology". ASM Handbook Volume 18.
16. <http://www.ankersmid.com/China/Physic/Characterisation/Products/Rubotherm.htm>
17. PDF-ICDD (International Centre for Diffraction Data). 1998. PCPDFWIN V.2.01.
18. George Y. Lai, Ph.D. 1990. "High Temperature Corrosion of Engineering Alloys". Group Leader High Temperature Alloys Haynes International, Inc. Kokomo, Indiana.
19. Tata Surdia dan Shinroku Satio. 1999. "Pengetahuan Bahan Teknik". Jakarta, PT. Pradaya Paramita.
20. D. Cullity. 1978. "Elements of X-Ray Diffraction". 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company Inc.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

LAMPIRAN

@Hak cipta milik IPB University

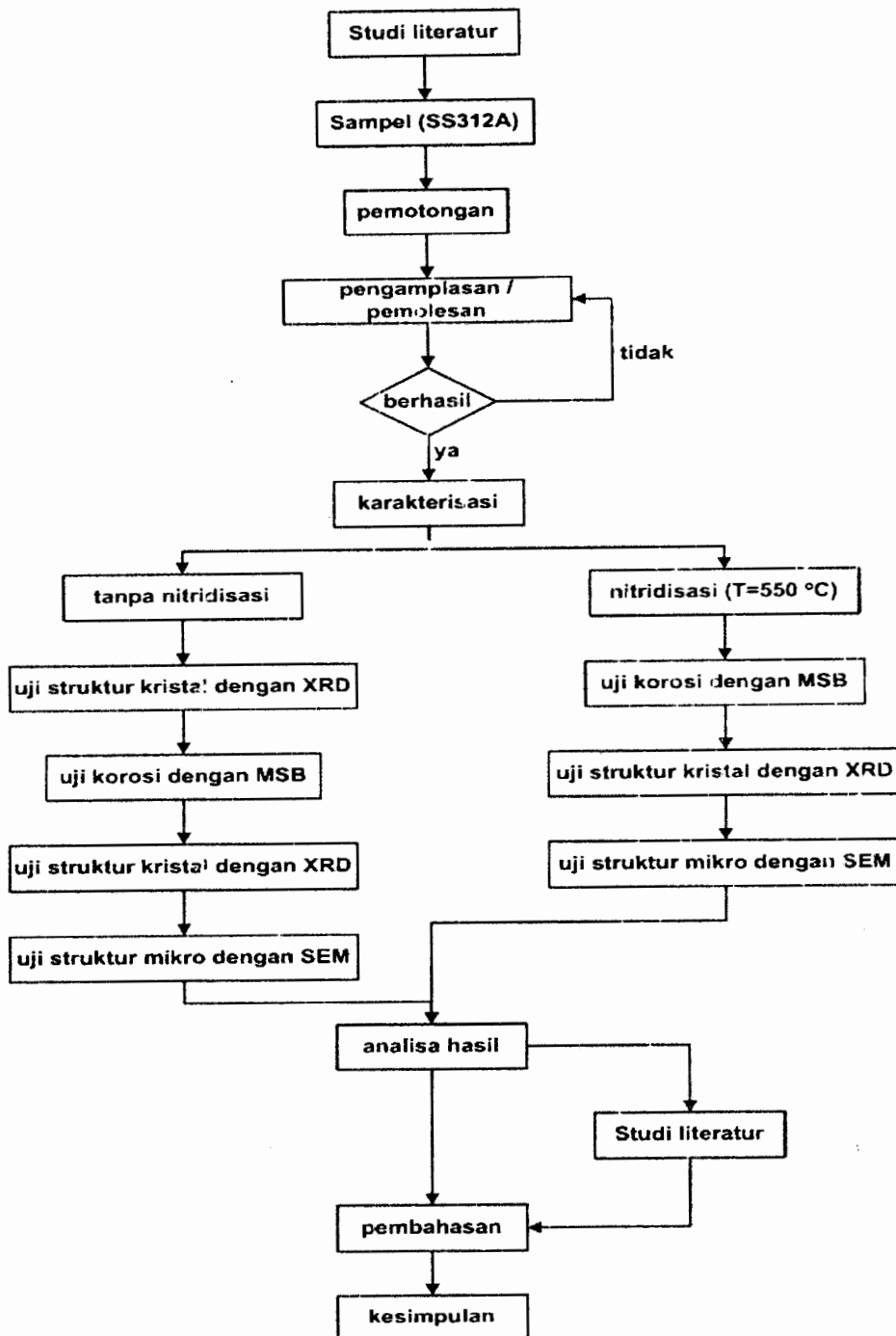
IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 2. Diagram Ellingham Oksidasi Logam

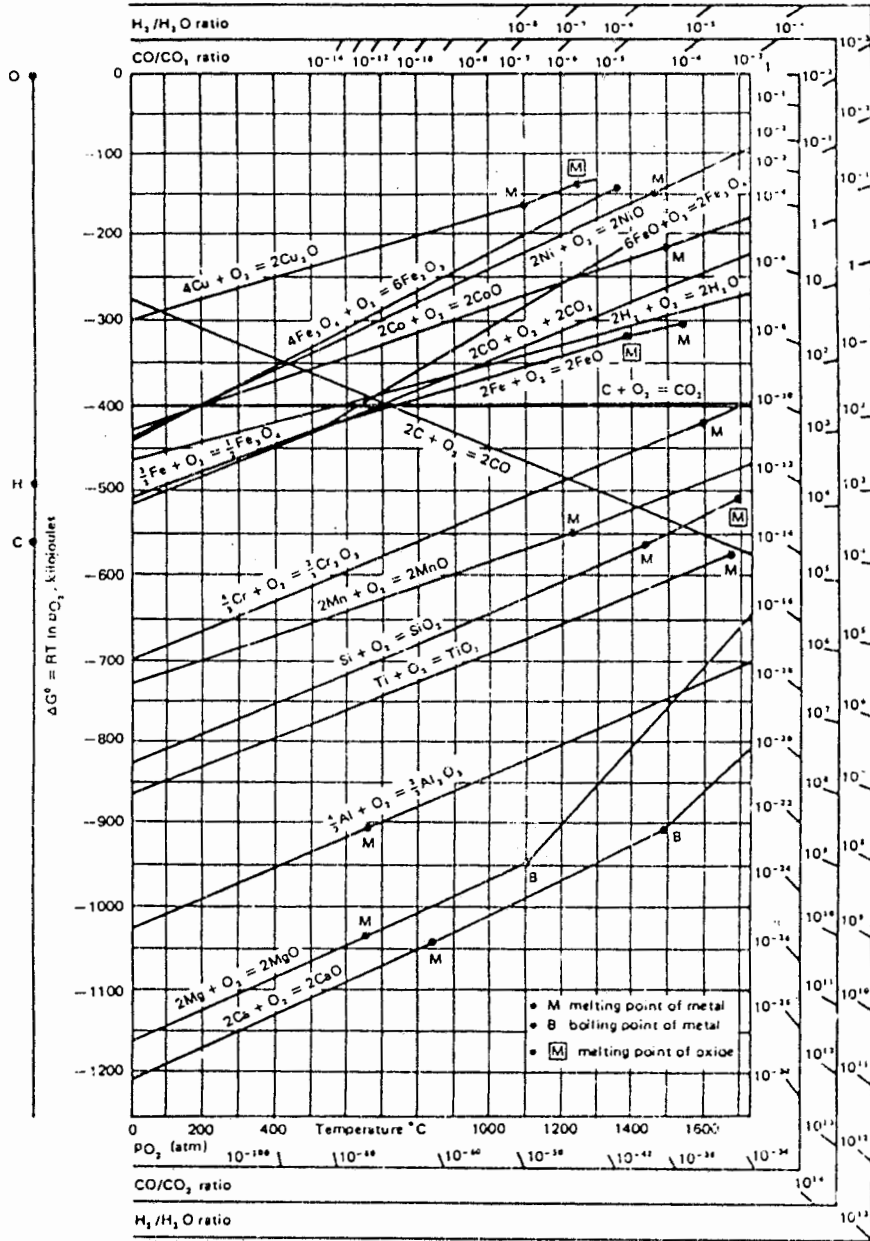


Figure 3.1 The Ellingham diagram for metallurgically important oxides.³

Gambar Diagram Ellingham untuk energi bebas terhadap temperatur oksida logam.^(10,11)

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Lampiran 3. Data Hasil Uji Korosi

Data perubahan massa persatuan luas sampel SS 312A yang dioksidasi (mg/cm^2)
pada $T = 850^\circ\text{C}$ selama 50 jam

Jam	Tanpa N	N-2 jam	N-3 jam	N-4 jam	N-5 jam	N-6 jam
0,0167	-2,7E-05	-8,5E-06	-6,5E-05	3,6E-05	-2,2E-05	2,9E-06
0,0833	4,0E-06	7,1E-05	9,5E-05	0,00015	0,00019	6,1E-05
0,1667	0,00019	0,00022	0,00038	0,00054	0,00048	0,00021
0,2500	0,00028	0,00031	0,00055	0,00065	0,00050	0,00026
0,3333	0,00040	0,00038	0,00076	0,00088	0,00067	0,00033
0,5000	0,00079	0,00050	0,00097	0,00110	0,00081	0,00039
0,6667	0,00110	0,00061	0,00104	0,00135	0,00088	0,00043
0,8333	0,00134	0,00079	0,00102	0,00129	0,00083	0,00043
1,0000	0,00139	0,00085	0,00091	0,00116	0,00076	0,00036
1,2500	0,00153	0,00100	0,00107	0,00139	0,00088	0,00049
1,5000	0,00157	0,00109	0,00113	0,00144	0,00095	0,00052
1,7500	0,00156	0,00113	0,00115	0,00150	0,00090	0,00056
2,0000	0,00162	0,00117	0,00115	0,00158	0,00093	0,00060
2,2500	0,00158	0,00117	0,00120	0,00155	0,00097	0,00067
2,5000	0,00164	0,00119	0,00113	0,00159	0,00096	0,00071
2,7500	0,00172	0,00121	0,00116	0,00167	0,00088	0,00075
3,0000	0,00172	0,00121	0,00119	0,00159	0,00096	0,00078
3,3333	0,00171	0,00122	0,00124	0,00158	0,00098	0,00087
3,6667	0,00179	0,00123	0,00117	0,00165	0,00103	0,00091
4,0000	0,00180	0,00124	0,00119	0,00159	0,00101	0,00090
4,3333	0,00186	0,00123	0,00115	0,00158	0,00095	0,00095
4,6667	0,00187	0,00126	0,00122	0,00160	0,00098	0,00097
5,0000	0,00187	0,00128	0,00112	0,00156	0,00106	0,00098
5,3333	0,00192	0,00129	0,00121	0,00158	0,00105	0,00106
5,6667	0,00187	0,00131	0,00115	0,00158	0,00098	0,00108
6,0000	0,00193	0,00130	0,00119	0,00159	0,00099	0,00108
6,3333	0,00191	0,00131	0,00119	0,00169	0,00103	0,00113
6,6667	0,00196	0,00133	0,00120	0,00168	0,00103	0,00113
7,0000	0,00197	0,00133	0,00116	0,00160	0,00104	0,00113
7,3333	0,00190	0,00131	0,00120	0,00164	0,00099	0,00115
7,6667	0,00197	0,00131	0,00120	0,00167	0,00113	0,00114
8,0000	0,00195	0,00131	0,00112	0,00158	0,00106	0,00120
8,3333	0,00197	0,00132	0,00122	0,00167	0,00106	0,00117
8,6667	0,00201	0,00134	0,00120	0,00159	0,00104	0,00119
9,0000	0,00200	0,00135	0,00116	0,00169	0,00105	0,00123
9,3333	0,00206	0,00135	0,00118	0,00168	0,00106	0,00125
9,6667	0,00203	0,00136	0,00120	0,00168	0,00102	0,00126
10,0000	0,00211	0,00136	0,00120	0,00174	0,00098	0,00132
10,3333	0,00212	0,00138	0,00123	0,00169	0,00094	0,00132
10,6667	0,00215	0,00139	0,00121	0,00168	0,00103	0,00131
11,0000	0,00218	0,00137	0,00123	0,00164	0,00106	0,00135
11,3333	0,00216	0,00140	0,00124	0,00169	0,00105	0,00136
11,6667	0,00226	0,00139	0,00125	0,00157	0,00106	0,00143

@ Hak cipta milik IPB University

IPB University

Lanjutan Lampiran 3. Data Hasil Uji Korosi

Jam	Tanpa-N	N-2 jam	N-3 jam	N-4 jam	N-5 jam	N-6 jam
12,0000	0,00221	0,00141	0,00127	0,00169	0,00106	0,00144
12,5000	0,00232	0,00136	0,00116	0,00176	0,00109	0,00150
13,0000	0,00239	0,00140	0,00122	0,00168	0,00103	0,00155
13,5000	0,00239	0,00139	0,00124	0,00164	0,00108	0,00157
14,0000	0,00253	0,00140	0,00124	0,00167	0,00108	0,00162
14,5000	0,00261	0,00140	0,00117	0,00169	0,00113	0,00168
15,0000	0,00268	0,00143	0,00123	0,00169	0,00110	0,00170
15,5000	0,00281	0,00144	0,00119	0,00172	0,00108	0,00178
16,0000	0,00292	0,00145	0,00116	0,00172	0,00110	0,00181
16,5000	0,00301	0,00145	0,00115	0,00175	0,00111	0,00188
17,0000	0,00316	0,00146	0,00122	0,00180	0,00110	0,00192
17,5000	0,00330	0,00147	0,00120	0,00180	0,00106	0,00201
18,0000	0,00338	0,00146	0,00118	0,00185	0,00108	0,00206
18,5000	0,00359	0,00146	0,00114	0,00175	0,00112	0,00210
19,0000	0,00377	0,00146	0,00120	0,00175	0,00105	0,00217
19,5000	0,00388	0,00145	0,00118	0,00172	0,00109	0,00222
20,0000	0,00408	0,00148	0,00119	0,00180	0,00108	0,00228
20,5000	0,00427	0,00147	0,00107	0,00180	0,00108	0,00232
21,0000	0,00438	0,00148	0,00115	0,00186	0,00110	0,00235
21,5000	0,00459	0,00149	0,00116	0,00173	0,00115	0,00242
22,0000	0,00469	0,00146	0,00110	0,00180	0,00106	0,00248
22,5000	0,00480	0,00148	0,00122	0,00183	0,00114	0,00250
23,0000	0,00499	0,00146	0,00125	0,00180	0,00110	0,00255
23,5000	0,00511	0,00146	0,00124	0,00178	0,00114	0,00259
24,0000	0,00514	0,00149	0,00119	0,00181	0,00110	0,00264
24,5000	0,00532	0,00155	0,00124	0,00188	0,00109	0,00267
25,0000	0,00546	0,00151	0,00127	0,00188	0,00114	0,00272
25,5000	0,00553	0,00155	0,00122	0,00190	0,00116	0,00278
26,0000	0,00558	0,00152	0,00122	0,00186	0,00113	0,00278
26,5000	0,00570	0,00151	0,00122	0,00180	0,00106	0,00286
27,0000	0,00577	0,00154	0,00124	0,00194	0,00121	0,00290
27,5000	0,00585	0,00152	0,00125	0,00188	0,00110	0,00295
28,0000	0,00596	0,00152	0,00124	0,00188	0,00111	0,00298
28,5000	0,00606	0,00152	0,00126	0,00193	0,00108	0,00305
29,0000	0,00620	0,00157	0,00128	0,00183	0,00112	0,00309
29,5000	0,00633	0,00159	0,00125	0,00188	0,00118	0,00314
30,0000	0,00640	0,00160	0,00127	0,00192	0,00122	0,00314
30,5000	0,00654	0,00162	0,00131	0,00196	0,00116	0,00321
31,0000	0,00664	0,00165	0,00126	0,00194	0,00124	0,00326
31,5000	0,00672	0,00165	0,00121	0,00191	0,00124	0,00330
32,0000	0,00682	0,00169	0,00128	0,00189	0,00124	0,00335
32,5000	0,00695	0,00171	0,00126	0,00186	0,00122	0,00340
33,0000	0,00697	0,00174	0,00126	0,00199	0,00125	0,00348
33,5000	0,00709	0,00177	0,00120	0,00195	0,00123	0,00353
34,0000	0,00719	0,00186	0,00126	0,00202	0,00117	0,00356
34,5000	0,00728	0,00191	0,00130	0,00201	0,00123	0,00359
35,0000	0,00731	0,00195	0,00133	0,00192	0,00117	0,00366
35,5000	0,00747	0,00207	0,00134	0,00197	0,00129	0,00371

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

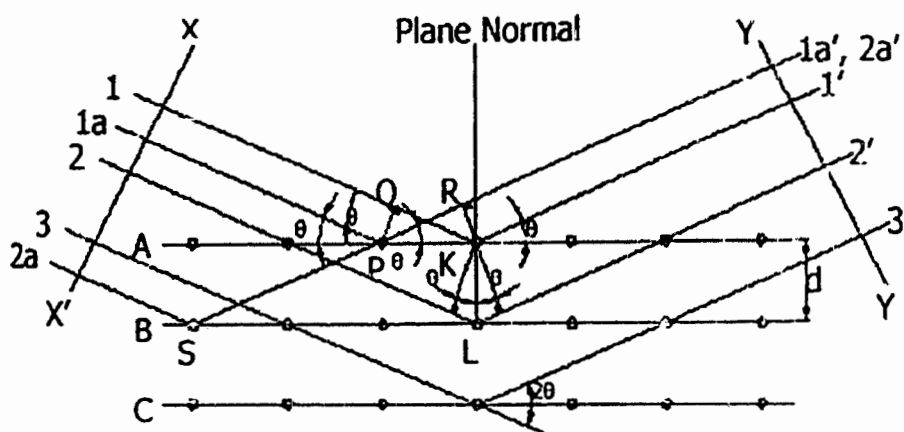
Lanjutan Lampiran 3. Data Hasil Uji Korosi

Jam	Tanpa-N	N-2 jam	N-3 jam	N-4 jam	N-5 jam	N-6 jam
36,0000	0,00752	0,00214	0,00129	0,00201	0,00129	0,00375
36,5000	0,00759	0,00221	0,00139	0,00204	0,00131	0,00379
37,0000	0,00762	0,00229	0,00142	0,00204	0,00137	0,00385
37,5000	0,00773	0,00238	0,00143	0,00205	0,00138	0,00388
38,0000	0,00782	0,00243	0,00148	0,00211	0,00140	0,00394
38,5000	0,00783	0,00252	0,00156	0,00213	0,00135	0,00397
39,0000	0,00795	0,00258	0,00168	0,00215	0,00141	0,00397
39,5000	0,00797	0,00264	0,00176	0,00219	0,00135	0,00402
40,0000	0,00803	0,00275	0,00183	0,00217	0,00144	0,00407
41,0000	0,00819	0,00293	0,00203	0,00236	0,00146	0,00415
42,0000	0,00831	0,00310	0,00231	0,00245	0,00147	0,00422
43,0000	0,00848	0,00326	0,00228	0,00243	0,00148	0,00430
44,0000	0,00858	0,00341	0,00249	0,00255	0,00144	0,00436
45,0000	0,00871	0,00356	0,00257		0,00147	0,00446
46,0000	0,00882	0,00370	0,00271		0,00151	0,00448
47,0000	0,00894	0,00388	0,00290		0,00149	0,00455
48,0000	0,00901	0,00398	0,00299		0,00155	0,00462
49,0000	0,00921	0,00409	0,00310		0,00156	0,00474
50,0000	0,00921	0,00416	0,00323		0,00160	0,00479

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Lampiran 4. Difraksi Sinar-X



Gambar 2.5. Skema Persamaan Bragg

Sinar X dengan panjang gelombang λ menuju kristal membentuk sudut θ (antara sinar datang dan bidang kristal). Semua atom-atom pada bidang 1 akan mendifraksikan sinar-sinar datang pada arah sejajar dengan sinar 1' dengan fasa yang sama. Peristiwa yang sama juga terjadi pada atom-atom bidang yang lain. Agar sinar yang meninggalkan bidang tetap sefasa, maka lintasan yang di tempuh sinar 2 yaitu $KL + K'L$ harus sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang (λ). Sehingga,

$$n\lambda = KL + K'L$$

$$KL = K'L = d_{hkl} \sin \theta$$

$$KL + K'L = 2 d_{hkl} \sin \theta$$

Dimana $n = 1, 2, 3, \dots$ order diffraction

d_{hkl} = jarak antar bidang kristal

λ = panjang gelombang sinar X

θ = sudut hamburan

Hukum Bragg : Bila seberkas sinar-x mengenai suatu bahan kristalin, berkas ini akan didifraksi oleh bidang atom (ion) dalam kristal tersebut. Besar sudut difraksi θ tergantung pada panjang gelombang λ berkas sinar-x dan jarak d antara bidang :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{pantulan berkas sefasa dan koheren})$$

$$\text{Rumus umum jarak antar bidang } d \text{ dalam kristal kubik adalah : } d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

a = konstanta kisi (\AA)

h, k, l = indeks bidang

Lampiran 5. Data *Peak* Hasil XRD SS 312A

As Received

2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa
97,356	5	1,0256	(2 2 2)	Austenit
90,419	17	1,0853	(3 1 1)	Austenit
74,486	100	1,2727	(2 2 0)	Austenit
54,760	5	1,6749	($\bar{3}$ 30)	Ferit
50,533	14	1,8046	(2 0 0)	Austenit
45,330	9	1,9989	(2 1 2)	Ferit
44,247	26	2,0453	(1 1 1)	Austenit
43,488	35	2,0792	(1 1 1)	Ferit

Nitridisasi 6 jam

Nitridisasi 5 jam

2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa	2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa
75,180	6	1,2627	(3 0 0)	Fe ₄ N	74,801	100	1,2682	(2 2 0)	Austenit
74,530	12	1,2721	(1 0 2)	Fe ₃ N	65,153	20	1,4306	(3 0 0)	Cr ₂ O ₃
69,110	2	1,3580	(0 2 2)	CrC	64,720	35	1,4391	(3 1 4)	Mn ₃ O ₄
63,636	28	1,4610	(2 2 0)	CrN	62,172	17	1,4918	(1 2 4)	Mn ₂ O ₃
62,064	18	1,0694	(4 4 0)	Mn ₂ O ₃	44,557	87	2,0317	(2 2 0)	Mn ₃ O ₄
54,422	3	1,6845	(1 1 6)	Cr ₂ O ₃	43,636	43	2,0725	(1 1 1)	Austenit
49,164	11	1,8516	(3 3 1)	MnO ₂	36,048	22	2,4894	(2 1 1)	Mn ₃ O ₄
44,286	8	2,0435	(0 0 2)	CrC	35,289	33	2,5412	(0 3 1)	Ferit
43,419	9	2,0823	(1 1 1)	Austenit	33,501	28	2,6726	(1 0 4)	Cr ₂ O ₃
40,492	10	2,2258	(1 1 3)	Mn ₂ O ₃					
36,969	2	2,4294	(3 1 1)	MnO ₂					
35,289	100	2,5412	(0 3 1)	Ferit					
33,284	4	2,6895	(1 1 0)	Fe ₄ N					
32,850	20	2,7241	(1 0 3)	Mn ₃ O ₄					

Lanjutan Lampiran 5. Data Peak Hasil XRD SS 312A

Nitridisasi 4 jam

Nitridisasi 3 jam

2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa	2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa
74,747	93	1,2689	(2 2 0)	Austenit	75,451	15	1,2588	(3 0 0)	Fe ₄ N
68,676	14	1,3655	(5 3 1)	MnO ₂	74,909	23	1,2666	(2 2 0)	Austenit
65,262	17	1,4285	(4 4 0)	MnO ₂	70,357	23	1,3370	(2 2 0)	Fe ₄ N
64,937	21	1,4348	(4 4 0)	Fe ₃ O ₄	64,236	15	1,4478	(0 3 0)	Mn ₂ O ₃
64,449	17	1,4445	(3 1 4)	Mn ₃ O ₄	63,907	31	1,4554	(0 0 2)	CrO ₂
64,015	41	1,4532	(0 0 2)	CrO ₂	62,714	19	1,4802	(2 2 0)	NiO
54,042	28	1,6954	(2 1 0)	Fe ₄ N	57,457	19	1,6025	(4 2 8)	Fe ₂ O ₃
50,935	14	1,7907	(2 0 0)	Austenit	53,175	15	1,7210	(1 1 6)	Mn ₂ O ₃
44,557	59	2,0317	(4 0 0)	Fe ₃ O ₄	52,850	15	1,7308	(0 4 2)	Ferit
43,636	59	2,0725	(1 1 1)	Austenit	49,490	27	1,8402	(3 3 1)	MnO ₂
40,818	24	2,2088	(2 0 0)	CrO ₂	48,135	15	1,8888	(2 0 0)	Fe ₄ N
36,969	14	2,4294	(3 1 1)	Fe ₃ O ₄	42,227	19	2,1383	($\bar{3}11$)	Ferit
35,560	100	2,5224	(1 1 2)	Ferit	40,980	19	2,2004	(2 0 0)	CrO ₂
33,175	45	2,6981	(2 0 7)	Fe ₂ O ₃	35,723	100	2,5113	(1 1 1)	FeO
31,441	24	2,8429	(2 2 0)	Fe ₃ O ₄	33,284	31	2,6895	(1 1 0)	Fe ₄ N

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lanjutan Lampiran 5. Data *Peak* Hasil XRD SS 312A

Nitridisasi 2 jam

Tanpa Nitridisasi

2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa	2 θ (deg)	I/I ₁	d(Å)	hkl	Fasa
75,397	15	1,2596	(3 1 1)	NiO	75,451	17	1,2588	(2 2 0)	Austenit
74,693	55	1,2697	(2 2 0)	Austenit	74,909	19	1,2666	(3 3 15)	Fe ₂ O ₃
73,825	8	1,2825	(4 1 3)	Mn ₃ O ₄	74,151	10	1,2777	(4 1 3)	Mn ₃ O ₄
64,015	33	1,4532	(0 3 0)	Mn ₂ O ₃	71,441	12	1,3193	(6 2 1)	Fe ₂ O ₃
62,714	24	1,4802	(2 2 0)	NiO	65,804	10	1,4180	(0 2 2)	CrC
62,443	36	1,4860	(2 1 1)	Cr ₂ N	64,666	17	1,4402	(3 1 4)	Mn ₃ O ₄
57,078	9	1,6122	(4 2 8)	Fe ₂ O ₃	63,961	71	1,4543	(0 3 0)	Mn ₂ O ₃
54,097	16	1,6938	(2 1 0)	Fe ₄ N	62,769	36	1,4791	(2 2 0)	NiO
50,248	5	1,8142	(2 0 0)	Austenit	57,294	17	1,6067	(4 2 8)	Fe ₂ O ₃
49,435	19	1,8421	(3 3 1)	MnO ₂	54,097	26	1,6938	(1 1 6)	Cr ₂ O ₃
47,809	8	1,9009	(2 0 0)	Fe ₄ N	53,609	12	1,7081	(3 1 2)	Mn ₃ O ₄
45,858	7	1,9771	($\bar{2}$ 1 $\bar{2}$)	Ferit	48,080	10	1,8908	(0 2 4)	Mn ₂ O ₃
44,666	16	2,0271	(4 0 0)	Fe ₃ O ₄	43,961	14	2,0579	(1 1 1)	Austenit
43,744	17	2,0676	(1 1 1)	Austenit	43,311	21	2,0873	(2 0 0)	NiO
40,980	16	2,2004	(2 0 0)	CrO ₂	42,715	14	2,1150	(1 1 1)	CrO ₂
35,994	9	2,4930	($\bar{1}$ 30)	Ferit	35,614	100	2,5187	(0 3 1)	Ferit
35,614	100	2,5187	(1 1 0)	Mn ₂ O ₃	33,284	24	2,6895	(2 0 7)	Fe ₂ O ₃
33,555	9	2,6684	(1 0 4)	Cr ₂ O ₃					
33,230	33	2,6938	(2 0 7)	Fe ₂ O ₃					

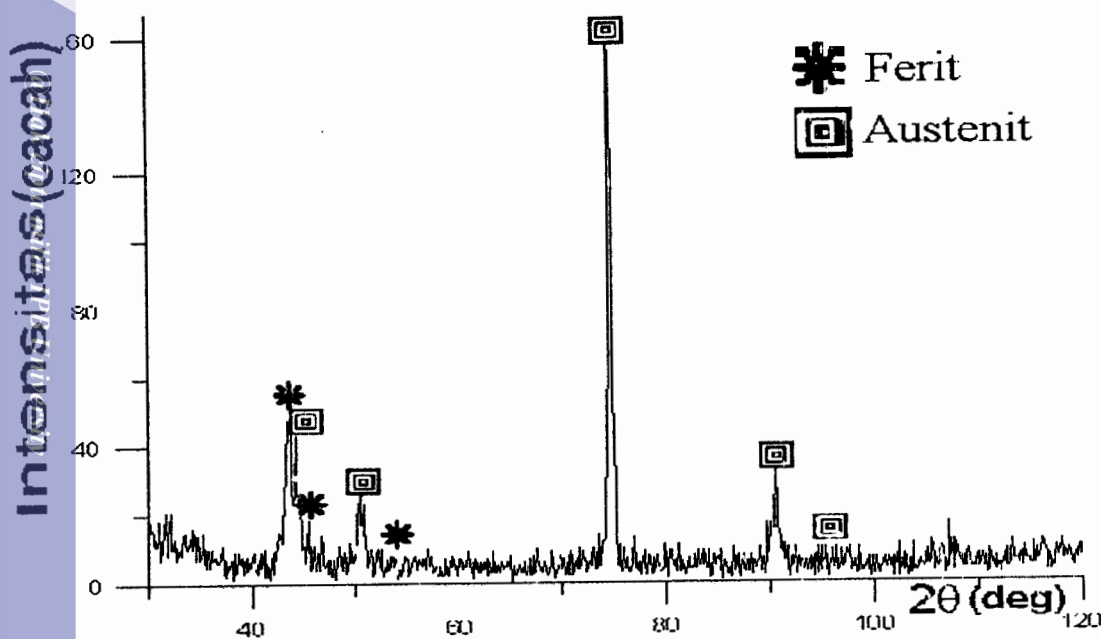
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

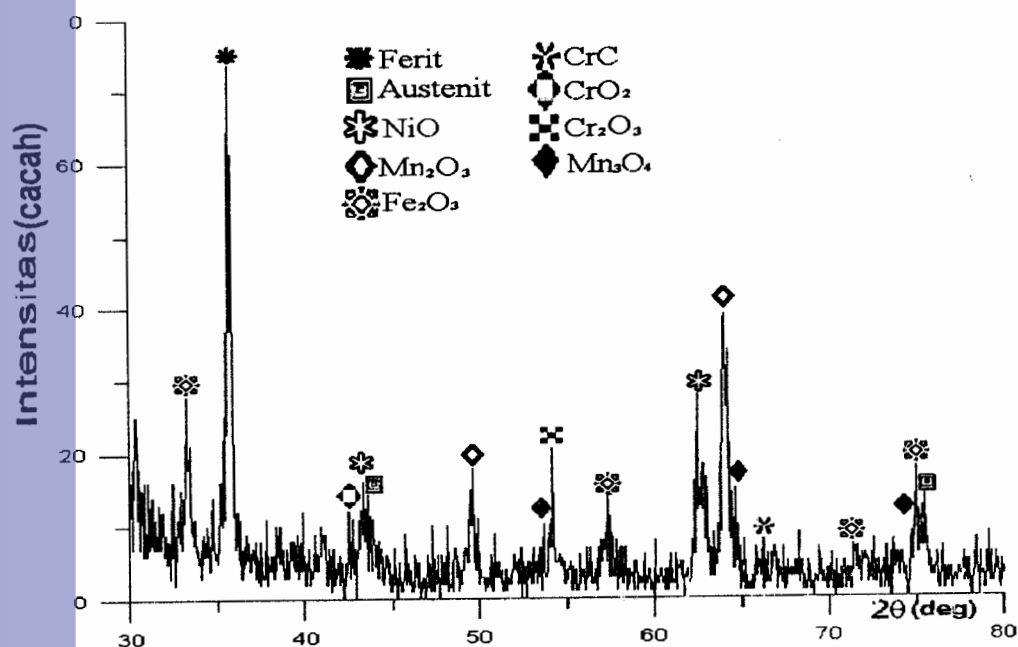
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6. Pola Hasil XRD SS 312A



Gambar Pola XRD SS 312A as received.



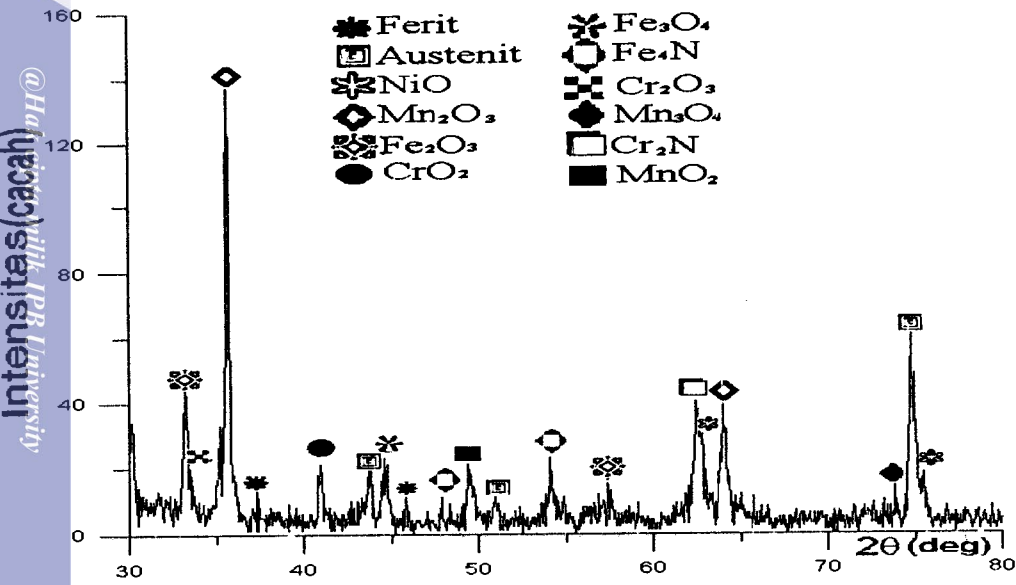
Gambar Pola XRD SS 312A tanpa nitridisasi.

Intensitas (cacah)

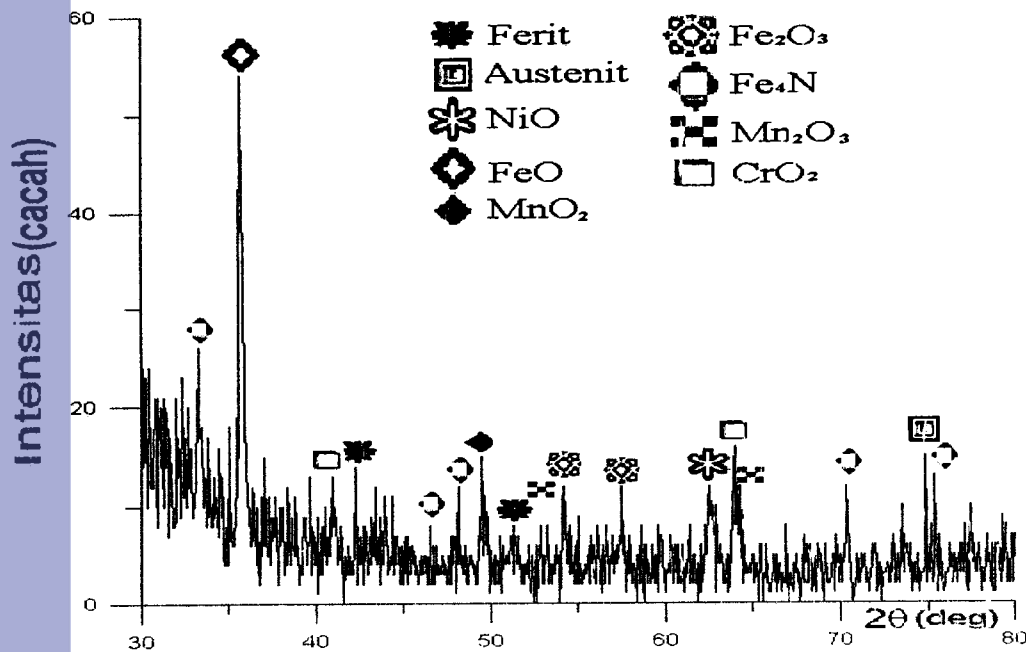
Intensitas (cacah)

IPB University

Lanjutan Lampiran 6. Pola Hasil XRD SS 312A



Gambar Pola XRD SS 312A nitridisasi 2 jam.



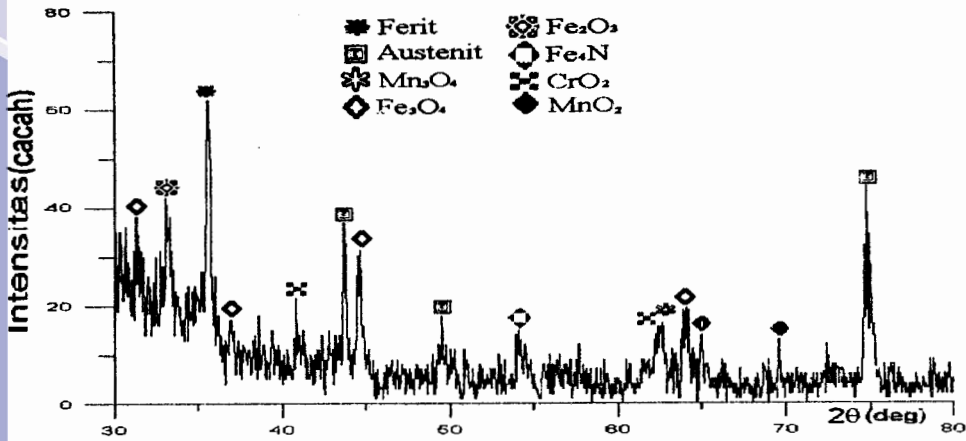
Gambar Pola XRD SS 312A nitridisasi 3 jam.

@Halim (pencacah) setiawan (pencacah) suatunil (pencacah) suatunil

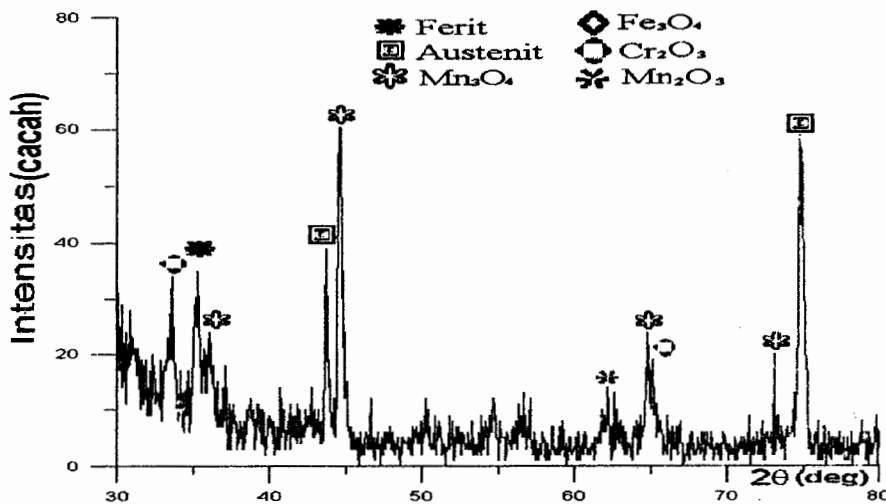
Intensitas (pencacah) suatunil

IPB University

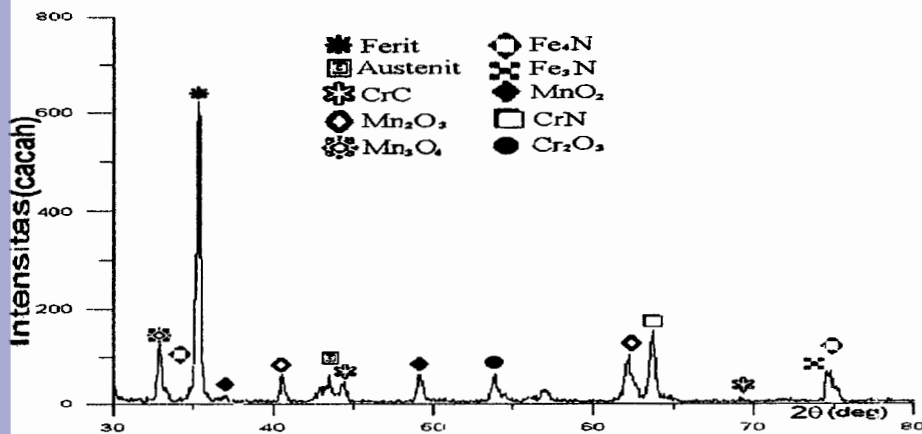
Lanjutan Lampiran 6. Pola Hasil XRD SS 312A



Gambar Pola XRD SS 312A nitridisasi 4 jam.



Gambar Pola XRD SS 312A nitridisasi 5 jam.



Gambar Pola XRD SS 312A nitridisasi 6 jam.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Lampiran 7. Data JSPDS XRD

06-0627

Wavelength= 1.54056

Fe ₄ N Iron Nitride	2 θ	Int	h	k	l
	23.453	10	1	0	0
	33.356	20	1	1	0
	41.166	100	1	1	1
	47.914	75	2	0	0
	53.989	20	2	1	0
	59.640	20	2	1	1
	70.056	65	2	2	0
	75.022	20	3	0	0
	79.867	10	3	1	0
	84.648	85	3	1	1
	89.409	40	2	2	2
	94.026	20	3	2	0
	98.866	20	3	2	1
	108.520	45	4	0	0

Roidite, syn

Rad.: CoKa λ : 1.7902 Filter: Fe Beta d-sp: 9.19

Cut off: Int.: Film I/lor.: 70.056 65 2 2 0

Ref: Jack, Proc. R. Soc. London, Ser. A, 195, 34 (1948)

Sys: Cubic

S.G.: P $\bar{4}$ 3m (215)

a: 3.795 b: c: A: C:

 β : γ : Z: 1 mp:

Ref: Ibid.

Dx: 7.212 Dm: SS/FOM: F₁₄ = 32((0.032, 14)

Sample contains 6.1 wt.% N; homogeneity range 5.7-6.1 wt.% N. C Fe₄ type. PSC: cP5. To replace 9-318. Mwt: 237.39. Volume[CD]: 54.66.

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

03-0968

Wavelength= 1.54056

FeO Iron Oxide	2 θ	Int	h	k	l
	36.190	80	1	1	1
	41.988	100	2	0	0
	60.397	90	2	2	0
	73.327	50	3	1	1
	76.807	40	2	2	2
	92.090	20	4	0	0
	103.183	20	3	3	1
	107.037	30	4	2	0
	123.362	30	4	2	2
	138.030	10	5	1	1

Sys.: Cubic

S.G.: Fm $\bar{3}$ m (225)

a: 4.294 b: c: A: C:

 β : γ : Z: 4 mp: 1380

Ref: Ibid.

Dx: 6.027 Dm: 5.745 SS/FOM: F₁₀ = 14((0.070, 10)

Sign: 2V:

Ref: Ibid.

Lanjutan Lampiran 7. Data JSPDS XRD

03-1124

Wavelength= 1.5405

Cr2O3	2 θ	Int	h	k	l
Chromium Oxide	24.502	50	0	1	2
	33.536	70	1	0	4
	36.190	60	1	1	0
	39.672	30	0	0	6
	41.383	60	1	1	3
	50.077	60	0	2	4
	54.935	100	1	1	6
	58.355	50	0	1	8
	63.202	70	2	1	4
	65.185	70	3	0	0
	72.673	70			
	73.327	50	1	1	9
	76.807	60	2	2	0
	79.077	60	3	0	6
	79.867	50			
	82.350	60			

Rad.: CrK α Filter: V2O5 Beta d-sp: 190.0

Cut off: Int.: Estimation I/Cor.:

Ref: United Steel Companies, Sheffield, England, UK, Private Communication

Sys.: Rhombohedral

S.G.: R

a: 4.9595 b: c: 13.598 A: C: 2.7418

 β : γ : Z: mp:

Ref: Ibid.

Dx: Dm: SS/FOM: F₁₃ = 4[(0.129, 29)

D-values corrected for absorption. Rhombohedral cell:
 a=5.3614, α =55.1. PSC: hR?. Deleted by NBS card. Mwt:
 151.99. Volume[CD]: 289.66.

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

44-1159

Wavelength= 1.5405

NiO	2 θ	Int	h	k	l
Nickel Oxide	37.248	60	1	0	1
	43.286	100	0	1	2
	62.852	30	1	1	0
	62.912	25	1	0	4
	75.404	14	1	1	3
	79.372	9	2	0	2
	79.501	4	0	0	6
	95.052	6	0	2	4
	106.905	4	2	1	1
	107.009	2	2	0	5
	107.100	2	1	0	7
	111.053	7	1	2	2
	111.184	7	1	1	6
	129.168	7	2	1	4
	129.437	3	0	1	8

Rad.: CuK α 1 λ : 1.540598 Filter: Ge Mono d-sp: Diff.

Cut off: Int.: Diffract. I/Cor.: 2.1

Ref: Wies, S., Eysel W., Mineral.-Petrograph., Institut der Universitaet Heidelberg, Germany, ICDD Grant-in-Aid, (1992)

Sys.: Rhombohedral

S.G.: R $\bar{3}m$ (166)

a: 2.9552(1) b: c: 7.2275(2) A: C: 2.4457

 β : γ : Z: 3 mp:

Ref: Ibid.

Dx: 6.808 Dm: SS/FOM: F₁₅ = 130(.0061, 19)

Color: Pale green

Peak height intensity. Pattern taken at 22 C. CAS #:

1313-99-1. Sample obtained from Merck (puriss.). For better crystallization, annealed at 1300 C for 5 hours and quenched.

Second cubic polymorph known (see 4-835). Bi O type.

Silicon used as an internal stand. PSC: hR2. To replace

22-1189. Mwt: 74.70. Volume[CD]: 54.66.

Lanjutan Lampiran 7. Data JSPDS XRD

47-1424 Wavelength= 1.54056

CrC	2 θ	Int	h	k	l
Chromium Carbide	38.609	100	1	1	1
	44.902	100	0	0	2
	65.339	100	0	2	2
	78.457	5	1	1	3
	82.694	5	2	2	2
	117.501	5	0	2	4
	139.891	5			

Rad. Elec Filter: d-sp:

Cut off: Int.: Estimation I/lor.:

Ref: Liu, B., Cheng, X., J. Phys.: Condens. Matter, 4, L265

(1992)

Sys.: Cubic S.G.: Fm3m (225)

a: 4.03 c: A: C:

b: Z: 4 mp:

Ref: Ibid.

Dx: 6.496 Dm: SS/FOM: F₆ = 7[(0.116, 8)

O assigned because of poor distribution of intensities.

Formed by 50 keV carbon-ion implantation into pure Cr films.

Cl Na type. Ni used as an internal stand. PSC: cF8. Mwt:

64.01. Volume[CD]: 65.45.

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 1.30

11-0065 Wavelength= 1.54056

CrN	2 θ	Int	h	k	l
Chromium Nitride	37.538	80	1	1	1
	43.737	100	2	0	0
	63.540	80	2	2	0
Carlsbergite, syn	76.154	60	3	1	1
	80.108	30	2	2	2
	96.310	30	4	0	0
	108.419	50	3	3	1
	112.576	60	4	2	0
	131.148	60	4	2	2
	149.761	30			

Rad.: CuK α λ : 1.5418 Filter: Ni Beta d-sp: 9.0

Cut off: Int.: Estimation I/lor.:

Ref: Turkdogan, Ignatowicz, J. Iron Steel Inst., London, 188,

242 (1958)

Sys.: Cubic S.G.: Fm3m (225)

a: 4.140 b: c: A: C:

 α : β : γ : Z: 4 mp:

Ref: Ibid.

Dx: 6.178 Dm: 5.900 SS/FOM: F₉ = 12[(0.092, 8)

Color: Light gray, pink-violet in reflected light

Electron diffraction: a=4.139. Reference: Pinsker,

Ambrosimova, Kristallografiya, 281, Sov. Phys. Crystallogr.,

3 285 (1958). Cl Na type. Halite group, periclase subgroup.

PSC: cF8. Mwt: 66.00. Volume[CD]: 70.96.

Lampiran 7. Data JSPDS XRD

13-0458 Wavelength= 1.54056

γ -Fe ₂ O ₃	2 θ	Int	h	k	l	2 θ	Int	h	k	l
Iron Oxide	11.177	10	1	0	1	56.289	10	5	1	1
	12.756	20	1	0	2	57.478	90	4	2	8
	13.983	10	0	0	4	59.767	20	5	2	1
	15.037	40	1	0	3	60.897	20	2	1	15
	16.631	10	1	1	2	63.106	90	4	4	1
	18.430	40	1	1	3	71.588	30	6	2	1
	23.894	60	1	0	6	74.608	30	3	3	15
	26.204	60	1	1	6	79.312	20	6	3	5
	27.875	30	2	0	5	87.491	20	4	2	18
	30.335	90	2	0	6	90.427	40	3	1	21
	32.220	30	0	0	9	95.344	30	0	0	24
	33.051	20	2	0	7	103.271	30	2	2	24
	34.008	30	1	0	9	106.284	40			
	34.770	20	2	1	7	111.460	20			
	35.743	100	1	1	9					
	37.376	20	2	2	6					
	38.975	20	2	0	9					
	40.528	10	2	1	9					
	41.643	10	3	2	4					
	43.428	90	0	0	12					
	50.136	80	2	1	12					
	53.921	40	4	1	8					
	55.114	10	5	0	1					

Rad: FeK α λ : 1.937 Filter: d-sp: Int.: Estimation I/Cor.:
 Cut off: Ref: Dasgupta, Geol. Survey Calcutta, India
 Sys.: Tetragonal S.G.:
 a: 8.338 b: c: 25.01 A: C: 2.9995
 β : γ : Z: mp:
 Ref: Bernal. et al. Clay Miner. Bull., 4, 15 (1959)
 Dx: Dm: SS/FOM: F₃₀ = 2[(0.056, 316)

Specimen prepared from α -Fe₂O₃ by dry method. Deleted by 15-615. Mwt: 159.69. Volume[CD]: 1738.75.

© 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
 PCPDFWIN v. 1.30

18-C803 Wavelength= 1.54056

γ -Mn ₃ O ₄	2 θ	Int	h	k	l
Manganese Oxide	18.015	70	1	0	1
	28.966	90	1	1	2
	31.026	20	2	0	0
	32.411	90	1	0	3
	36.040	100	2	1	1
	38.100	30			
	44.369	60	2	2	0
	49.785	10			
	50.976	30			
	53.886	20	3	1	2
	56.027	10	3	0	3
	58.763	30			
	60.024	80	2	2	4
	64.677	30	3	1	4
	67.859	10	4	0	2
	70.176	30	3	0	5
	73.995	20	4	1	3
	77.547	10	4	0	4
	80.676	10			
	81.839	10			
	86.905	10	4	1	5
	88.895	10	5	1	2
	90.995	10	2	0	3
	93.217	10	4	0	6
	98.082	2	1	0	9

Rad: FeK α λ : 1.9373 Filter: Mn Beta d-sp: Debye-S. 114.6
 Cut off: Int.: I/Cor.:
 Ref: Bricker, Am. Mineral., 50, 1296 (1965)
 Sys.: Tetragonal S.G.: I4₁/amd (141)
 a: 5.78 b: c: 9.33 A: C: 1.6142
 α : β : γ : Z: 4 mp:
 Ref: ibid.
 Dx: 4.876 Dm: SS/FOM: F₁₉ = 3[(0.151, 48)

CAS #: 1317-34-6. Synthetic, formed by treatment of a suspension of Mn₃O₄ by oxygen gas. Analysis gave Mn O1.442 · 0.49 H₂O. Z by analogy with hausmannite, L.G.B., assuming Mn10.66 O16. Close to MnOOH inverts to γ MnOOH on standing in water suspension for several months. Pattern very similar to Mn₃O₄ (hausmannite). Mn₃O₄ type. PSC: t128. To replace 6-540. Mwt: 228.81. Volume[CD]: 311.70.