



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

PENGARUH NITRIDASI TERHADAP LAJU KOROSI STAINLESS STEEL AISI 316L DEGAN METODE PACK NITRIDING

SKRIPSI



**ELVIYENTI
05135030**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2010**

SKRIPSI

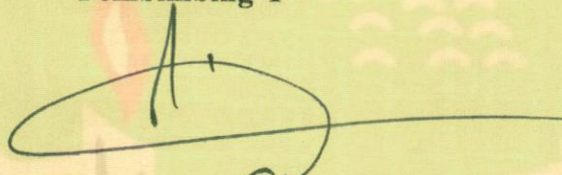
**PENGARUH NITRIDASI TERHADAP LAJU KOROSI *STAINLESS STEEL* AISI
316L DENGAN METODE *PACK NITRIDING***

Yang disusun oleh

ELVIENTI
05 135 030

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 30 Juli 2010
dan dinyatakan telah lulus memenuhi syarat

Pembimbing I



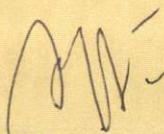
Drs. Alimin Mahyudin, M.Si
NIP.196106031989011001

Susunan Tim Penguji :

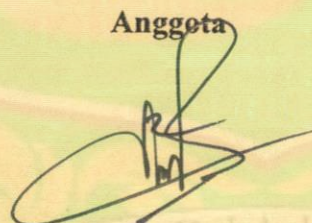
Ketua

Anggota

Anggota



Sri Handani, M.Si
NIP.197607141995122001



Dr. Dian Fitriyani
NIP.197012151999032001

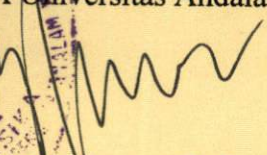


Dr. Dahyunir Dahlan
NIP. 196811281995121002

Padang, 27 Agustus 2010

Ketua Jurusan Fisika

FMIPA Universitas Andalas Padang



Arif Budiman, M.Si
NIP.19731114 1999031004

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Bacalah dengan nama Tuhanmu yang menciptakan

Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah

Bacalah dan Tuhanmulah yang paling pemurah

Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam

Dan mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya

(QS: Al Aq 1-5)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Dan hanya

kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(QS: Al Nasyrah 6,8)

Syukur pada Allah SWT

Dan terima kasih ku untuk

Ibu dan Ayah

Kakak dan Adik

Para Dosen dan Teman-teman

Yang tanpa mereka

Aku tak memperoleh keberhasilan ini

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, berkat rahmat, petunjuk dan hidayah dari-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas yang diberi judul **“Pengaruh Nitridasi Terhadap Laju Korosi *Stainless Steel* AISI 316L Dengan Metode *Pack Nitriding*”**.

Dalam penyelesaian skripsi ini ada peran pihak lain selain diri pribadi penulis, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibunda Nurlia dan Ayahanda Syamsir yang telah memberikan dukungan moril dan materil, selalu menyertai penulis dengan dorongan semangat, kasih sayang dan doa tulus.
2. Bapak Drs Alimin Mahyuddin, M.Si sebagai pembimbing utama.
3. Bapak Drs. Sulistioso Giat S, M.T dan bapak Wagiyono H, M.T sebagai pembimbing di PTBIN-BATAN kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang.
4. Ibu Sri Handani, M.Si , Ibu Dr. Dian Fitriyani dan Bapak Dr. Dahyunir Dahlan selaku tim penguji tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA UNAND yang telah memberikan pendidikan selama di Jurusan Fisika FMIPA UNAND.
6. Kakandaku tercinta Syafrizal ST & Effendi, A.Md & Afliyanti, S.Si serta adindaku tersayang Irliany semoga kita semua bisa jadi anak yang berbakti.

7. Teman-teman special q : Ona n winda (kebersamaan itu akan selalu terpatri dihati...terima kasih *my best friend*), Ami, Rose, mbak Fina, Isil, Hendri, Rico, Debby, Ayu, meri N, hendri dan semua anggota Visk05itas.
8. Special buat yang selalu mewarnai hidup ku, terima kasih atas semua ketulusannya.
9. Semua pihak yang telah turut serta memberikan dukungan pada penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga amalnya dapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Amiin.

Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan. Sebagai suatu hasil penelitian yang dilakukan oleh seorang manusia biasa maka skripsi ini tak luput dari kesalahan dan kekhilafan. Untuk itu penulis harapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan dari skripsi ini. Atas perhatian penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Nitridasi.....	6
2.1.1 Pengertian Nitridasi	6
2.1.2 Metode Nitridasi.....	8
2.2 Korosi	9
2.2.1 Laju Korosi	11

2.3 Difusi Atom dalam Material	12
2.4 Karakterisasi Material.....	13
2.4.1 Sel Elektrokimia dan Potensiostat/galvanostat.....	13
2.4.2 Mikroskop Optik	14
2.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) dan <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	15
2.4.4 Difraksi Sinar-X (XRD)	16
BAB III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	18
3.2.1 Peralatan Penelitian	18
3.2.2 Bahan Penelitian	19
3.3 Prosedur Kerja	20
3.3.1 Pembuatan Tabung Tempat Nitridasi	20
3.3.2 Preparasi Sampel	20
3.3.3 Nitridasi Sampel.....	21
3.3.4 Karakterisasi Material.....	22
3.4 Alur Penelitian.....	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Pengujian Struktur Mikro dengan Mikroskop Optik.....	28
4.2 Pengujian Korosi	30
4.3 Pengujian Struktur Mikro dengan SEM-EDS	33
4.4 Identifikasi Fasa dengan XRD	40

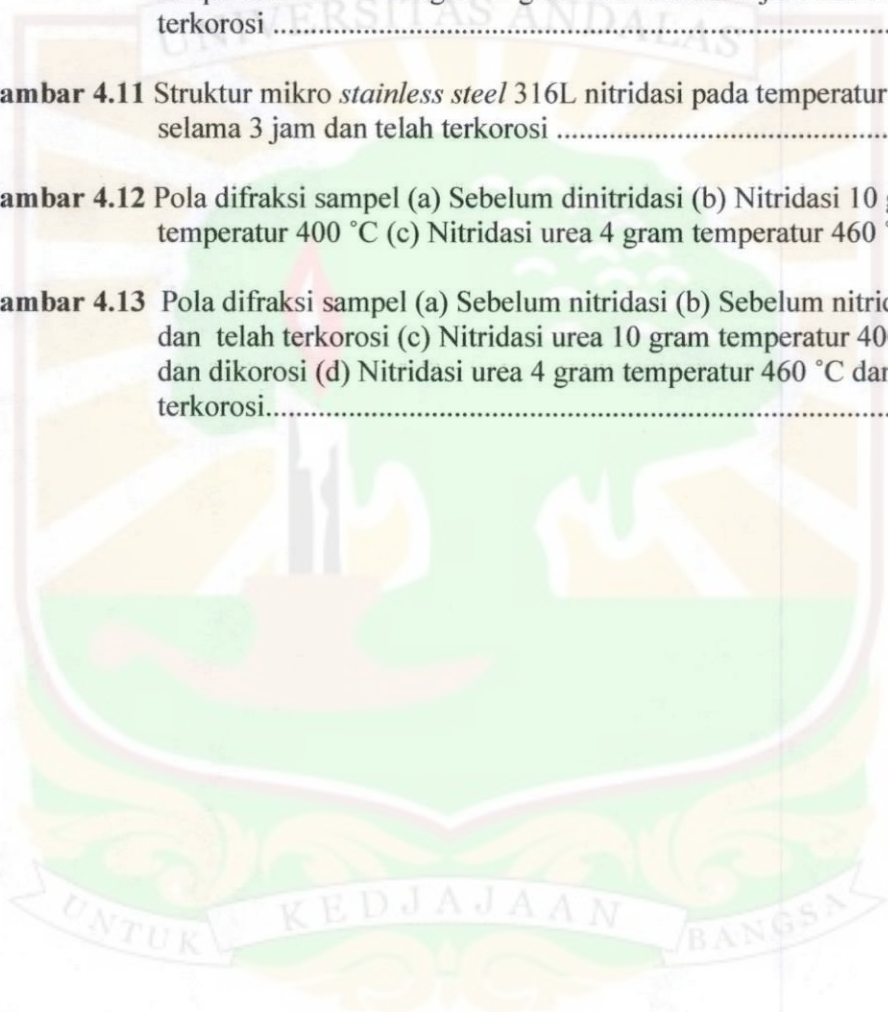
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN	48



DAFTAR GAMBAR

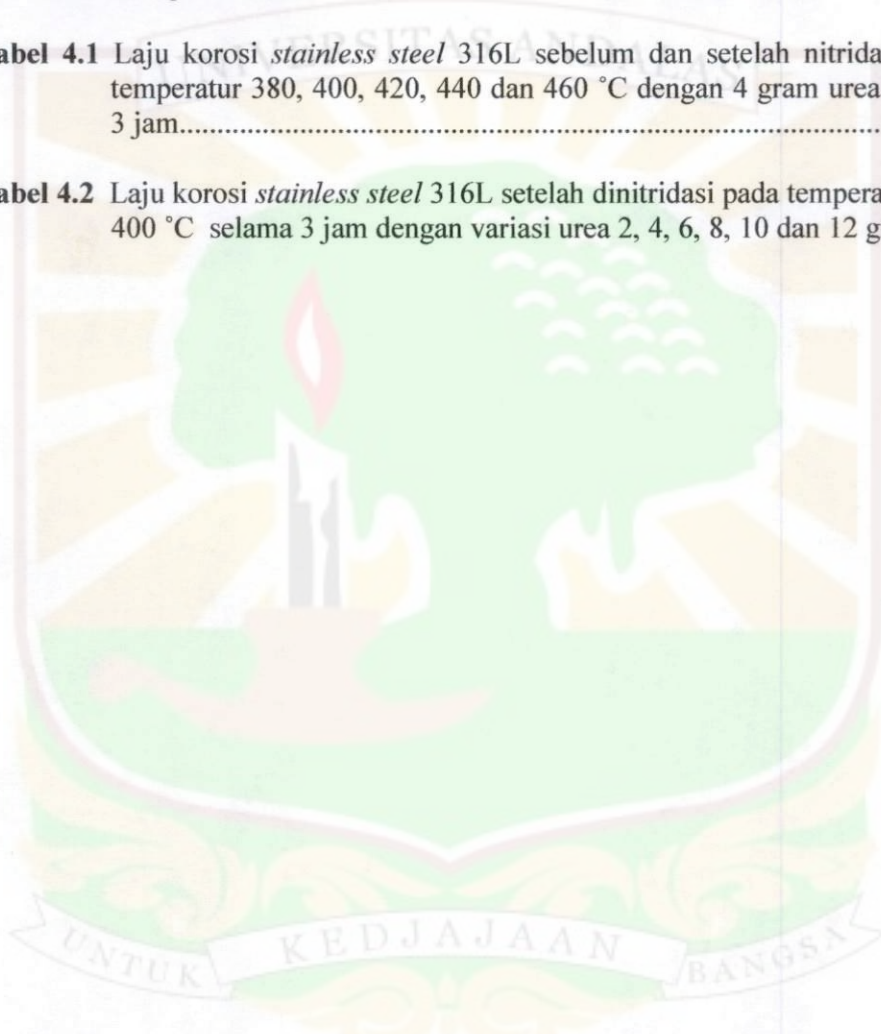
	Halaman
Gambar 2.1 Diagram fasa besi – karbon	7
Gambar 2.2 Sel korosi	10
Gambar 2.3 Mekanisme difusi atom dalam material	13
Gambar 2.4 Difraksi sinar-X oleh bidang kristal	17
Gambar 3.1 Tabung tempat nitridasi	20
Gambar 3.2 Mesin poles	21
Gambar 3.3 Mikroskop optik	23
Gambar 3.4 Sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat	24
Gambar 3.5 <i>Scanning electron microscopy</i>	25
Gambar 3.6 Difraktometer sinar-X	25
Gambar 3.7 Alur kerja nitridasi dengan variasi temperatur.....	26
Gambar 3.8 Alur kerja nitridasi dengan variasi jumlah urea	27
Gambar 4.1 Struktur permukaan <i>stainless steel</i> 316L hasil pengamatan mikroskop optik sebelum nitridasi.....	28
Gambar 4.2 Struktur permukaan <i>stainless steel</i> 316L hasil pengamatan mikroskop optik setelah nitridasi	29
Gambar 4.3 Tampang lintang <i>stainless steel</i> 316L setelah nitridasi pada temperatur 400 °C selama 3 jam.....	30
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara temperatur nitridasi dan laju korosi.....	31
Gambar 4.5 Grafik hubungan anatara jumlah urea dan laju korosi	33
Gambar 4.6 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L sebelum nitridasi	34
Gambar 4.7 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L nitridasi pada temperatur 400 °C	

dengan 10 gram urea selama 3 jam	35
Gambar 4.8 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L nitridasi pada temperatur 460 °C dengan 4 gram urea selama 3 jam.....	36
Gambar 4.9 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L sebelum nitridasi dan telah terkorosi.....	37
Gambar 4.10 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L yang dinitridasi pada temperatur 400 °C dengan 10 gram urea selama 3 jam dan telah terkorosi	38
Gambar 4.11 Struktur mikro <i>stainless steel</i> 316L nitridasi pada temperatur 460°C selama 3 jam dan telah terkorosi	39
Gambar 4.12 Pola difraksi sampel (a) Sebelum dinitridasi (b) Nitridasi 10 gram temperatur 400 °C (c) Nitridasi urea 4 gram temperatur 460 °C ...	40
Gambar 4.13 Pola difraksi sampel (a) Sebelum nitridasi (b) Sebelum nitridasi dan telah terkorosi (c) Nitridasi urea 10 gram temperatur 400 °C dan dikorosi (d) Nitridasi urea 4 gram temperatur 460 °C dan terkorosi.....	41



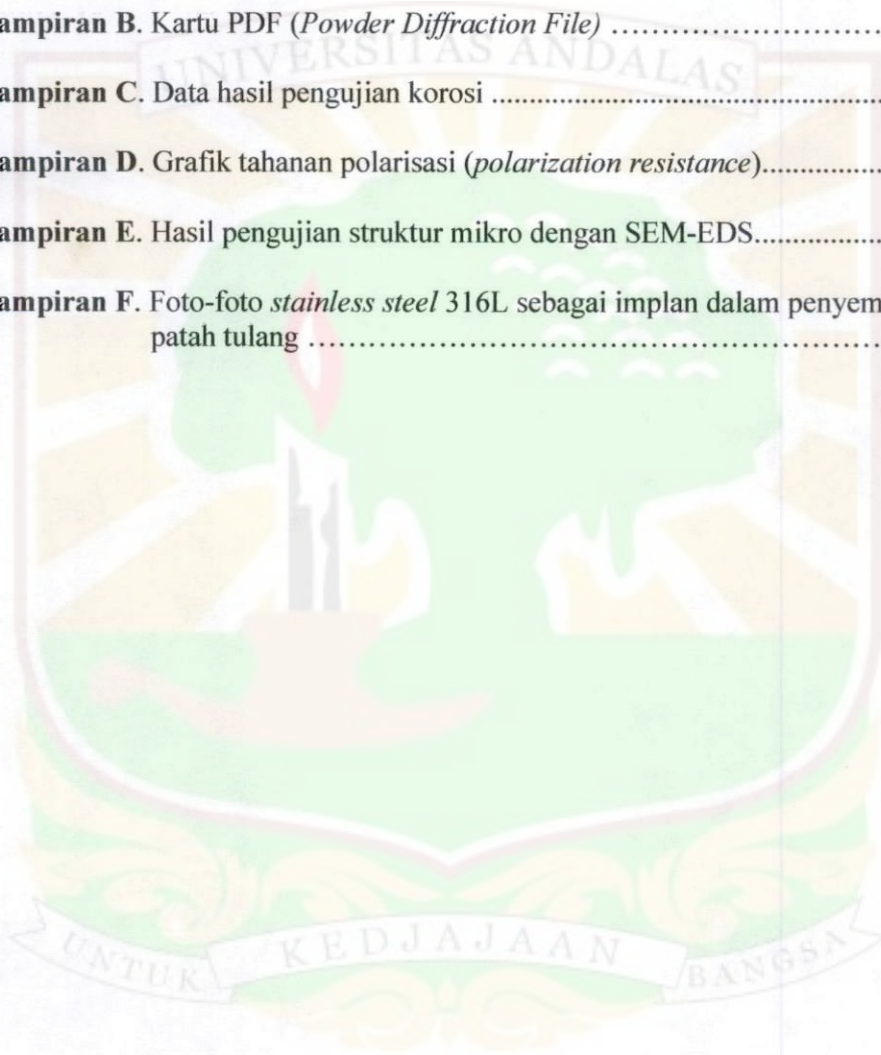
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Komposisi <i>stainless steel</i> AISI 316L	19
Tabel 3.2 Komposisi cairan infus Otsu-NS PT. Otsuka Indonesia	19
Tabel 4.1 Laju korosi <i>stainless steel</i> 316L sebelum dan setelah nitridasi pada temperatur 380, 400, 420, 440 dan 460 °C dengan 4 gram urea selama 3 jam.....	30
Tabel 4.2 Laju korosi <i>stainless steel</i> 316L setelah dinitridasi pada temperatur 400 °C selama 3 jam dengan variasi urea 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram .	32



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data hasil identifikasi sampel dengan XRD.....	48
Lampiran B. Kartu PDF (<i>Powder Diffraction File</i>)	51
Lampiran C. Data hasil pengujian korosi	54
Lampiran D. Grafik tahanan polarisasi (<i>polarization resistance</i>).....	56
Lampiran E. Hasil pengujian struktur mikro dengan SEM-EDS.....	58
Lampiran F. Foto-foto <i>stainless steel</i> 316L sebagai implan dalam penyembuhan patah tulang	59



INTISARI

Telah dilakukan nitridasi pada *stainless steel* AISI 316L dengan metoda *pack nitriding*. Nitridasi dilakukan dengan variasi temperatur yaitu 380, 400, 420, 440 dan 460 °C dan variasi jumlah urea yaitu 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram. Uji korosi dilakukan menggunakan sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat model 273 dalam media cairan tubuh tiruan (0,9 % larutan sodium klorida). Dari hasil uji korosi yang sudah diperoleh menunjukkan bahwa *stainless steel* yang dinitridasi dengan metode *pack nitriding* pada 400 °C merupakan temperatur optimal dengan 10 gram urea mampu memperlambat laju korosi sampai 4 kali dibandingkan dengan sampel sebelum dinitridasi yaitu dari 0,282 *milli-inch per year* (mpy) menjadi 0,0739 mpy. Hasil pengamatan struktur mikro dengan SEM-EDS pada permukaan *stainless steel* terdapat lapisan besi nitrida dan pada *stainless steel* AISI 316L yang terkorosi mengalami korosi bentuk lubang (*pitting corrosion*).

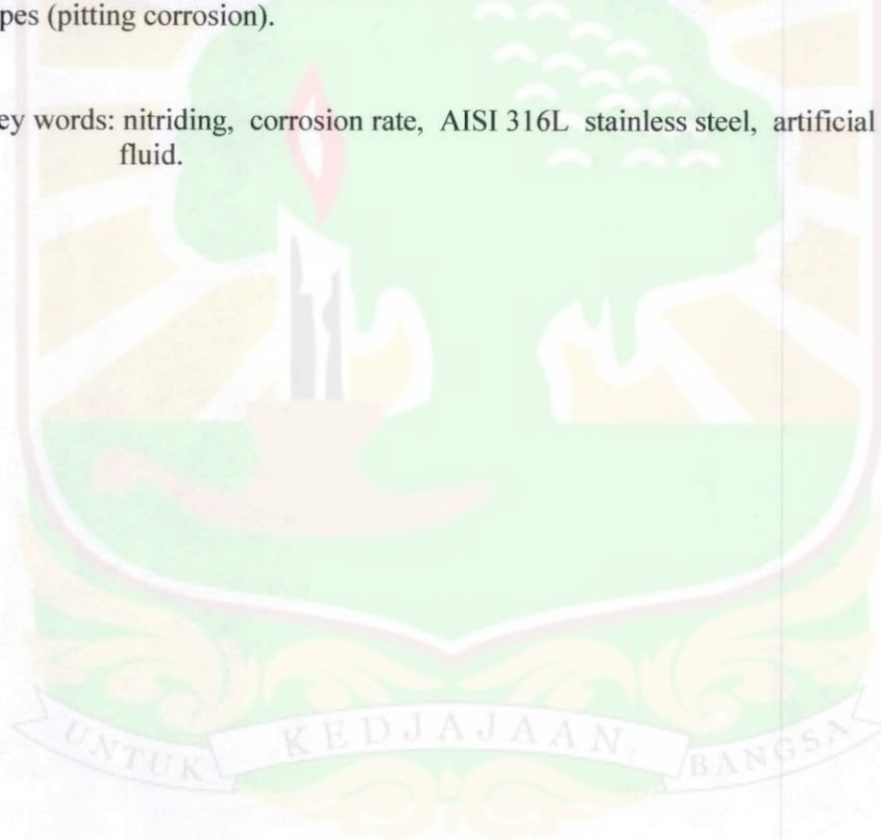
Kata kunci: nitridasi, laju korosi, *stainless steel* AISI 316L, cairan tubuh tiruan.



ABSTRACT

Nitriding has been carried out on AISI 316L stainless steel by pack nitriding method. The nitriding temperature variation is performed with 380, 400, 420, 440 and 460 °C and various amounts of urea that is 2, 4, 6, 8, 10 and 12 grams. Corrosion tests were conducted using an electrochemical cell and potentiostat/galvanostatic 273 models in artificial body fluid medium (0.9% solution of sodium chloride). From the corrosion test results have been obtained shows that the stainless steel pack nitriding method at 400 °C, which is the optimum temperature with 10 grams of urea can slow the corrosion rate up to 4 times compared by samples that don't nitriding from 0.282 milli-inch per year (mpy) to 0.0739 mpy. The microstructure observations by SEM-EDS on the surface of iron nitride layers formed and the corrosion of AISI 316L stainless steel form of holes types (pitting corrosion).

Key words: nitriding, corrosion rate, AISI 316L stainless steel, artificial body fluid.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi dan industri dalam penggunaan material logam sangat besar peranannya, diantaranya dalam bidang *orthopedik* yaitu logam sebagai suatu peralatan medis yang dibuat untuk menggantikan struktur dan fungsi suatu bagian biologis (implan) dalam tubuh. Salah satu logam yang digunakan sebagai implan adalah *stainless steel* AISI 316L. Tetapi, ada kendala dalam penggunaan logam tersebut yaitu adanya kerusakan pada permukaannya. Kerusakan suatu logam selalu diawali dari permukaan. Kerusakan permukaan dapat disebabkan karena korosi maupun berinteraksi dengan benda lain, misalkan bergesekan dengan komponen lain. Masalah kerusakan permukaan tidak dapat dihindari namun hanya dapat dicegah (Smallman, 1999).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan permukaan logam diantaranya meningkatkan kualitas pada permukaan logam. Dalam bidang rekayasa material, cara itu dikenal dengan istilah *surface treatment* (perlakuan permukaan). Pada dasarnya perlakuan permukaan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pertama dengan menambah unsur lain atau mengubah komposisi kimianya yaitu dengan cara nitridasi (*nitriding*), karburasi (*carburizing*), karbonitridasi (*carbonitriding*), sedangkan yang kedua dengan cara mengubah fasa atau struktur kristalnya melalui pemanasan pada temperatur tertentu yang kemudian diikuti dengan pendinginan cepat (*quench*) ataupun lambat, tergantung

bahan apa yang ingin dituju (Tjipto, 2003).

Nitridasi merupakan perlakuan permukaan dengan melibatkan difusi nitrogen pada suatu logam pada temperatur dan jangka waktu tertentu tergantung dari ketebalan lapisan atau aplikasi dari material yang diinginkan. Nitridasi dapat dilakukan menggunakan metode gas, cair dan padat untuk diberikan kepada material target diantaranya paduan baja, *stainless steel* atau material lain yang mengandung unsur paduan aluminium, krom, tungsten dan vanadium yang bermanfaat dalam proses nitridasi karena unsur-unsur tersebut dapat membentuk lapisan nitrida yang stabil pada temperatur nitridasi (Conrad et al, 2003).

Penelitian tentang nitridasi sudah pernah dilakukan oleh Setiawan (2009) dengan metode *gas nitriding* dan menggunakan gas amoniak (NH_3) sebagai sumber nitrogen dengan variasi temperatur dan lamanya waktu nitridasi. Hasil dari nitridasi yang dilakukan dengan *gas nitriding* menunjukkan adanya penurunan laju korosi dibandingkan dengan sebelum dilakukan nitridasi.

Nitridasi dapat dilakukan dengan metode *gas nitriding*, *plasma/ion nitriding* dan *pack nitriding*. Metode padatan (*pack nitriding*) adalah proses nitridasi dengan menggunakan zat padat sebagai sumber nitrogen kemudian menguburkan sampel ke dalam padatan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan nitridasi dengan metode *pack nitriding* karena prosesnya yang lebih sederhana serta penelitian sebelumnya belum ada yang melakukan nitridasi dengan metode ini. Nitridasi dilakukan dengan metode *pack nitriding* dengan variasi temperatur dan massa urea. Urea sebagai sumber nitrogen diharapkan bisa berdifusi ke permukaan *stainless steel* AISI 316L membentuk lapisan besi nitrida di

permukaan *stainless steel* sehingga disaat dilakukan uji korosi diharapkan akan terjadi penurunan laju korosi atau terjadinya peningkatan ketahanan korosi dari sebelum dilakukan nitridasi.

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *stainless steel* AISI 316L. Nitridasi dilakukan terhadap *stainless steel* AISI 316L karena pentingnya aplikasi *stainless steel* AISI 316L sebagai material yang digunakan untuk penggantian tulang persendian, lutut, pinggul, penyembuhan patah tulang dan selama pemakaian material implan dapat mengalami cacat permukaan yang disebabkan oleh faktor-faktor kimia pada permukaan material seperti korosi, sehingga dapat mempersingkat waktu pemakaian. Biasanya umur pemakaian kira-kira 10 tahun. Kerusakan yang terjadi pada material implan sebagian besar (70 %) disebabkan oleh korosi (Kumachi, et al., 2003).

Adapun karakteristik dari *stainless steel* AISI 316L adalah baja tahan karat jenis austenit dan memiliki modulus elastis pada suhu kamar (25°C) berkisar 190 – 210 GPa, kepadatan (*density*) $7,98 \text{ gr/cm}^3$. Kekuatan tarik bervariasi antara 515 – 827 MPa, kapasitas panas $0,5 \text{ J/gr}^{\circ}\text{C}$, Resistivitas listrik $74 \times 10^{-5} \text{ ohm-cm}$ dan konduktivitas termal $16,3 \text{ W/m.K}$ serta merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon maksimal 0,03 % dari massanya.

Berangkat dari permasalahan di atas, maka perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang pentingnya nitridasi sebagai salah satu teknik rekayasa permukaan material dan diharapkan hasil penelitian ini akan berguna untuk meningkatkan efisiensi atau daya guna logam melalui nitridasi agar diperoleh lapisan besi nitrida pada permukaan material sehingga ketahanan korosinya dapat ditingkatkan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Karakterisasi terbentuknya lapisan besi nitrida menggunakan metode *pack nitriding* dengan variasi temperatur dan massa urea.
2. Membandingkan ketahanan korosi sampel sebelum nitridasi dan setelah nitridasi menggunakan sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat yang telah terhubung ke komputer dengan *software* M 342.
3. Mengamati struktur mikro dari *stainless steel* AISI 316L yang telah dinitridasi menggunakan mikroskop optik dan SEM-EDS serta identifikasi fasa dengan difraktometer sinar-X (XRD).

1.3 Manfaat Penelitian

Setelah mengetahui bagaimana pengaruh nitridasi terhadap ketahanan korosi pada *stainless steel* AISI 316L, maka untuk selanjutnya nitridasi dapat dikembangkan sebagai teknik rekayasa permukaan material, khususnya untuk meningkatkan ketahanan korosi *stainless steel* AISI 316L sehingga diperoleh hasil yang optimal, ekonomis dan efisien, serta dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan rekayasa permukaan khususnya dan dalam bidang perkembangan rekayasa material pada umumnya.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan proses nitridasi pada *stainless steel* AISI 316L dengan metode *pack nitriding* dengan menggunakan variasi temperatur dan

variasi massa urea. Pengujian ketahanan korosi dilakukan pada sampel yang tidak dinitridasi dan yang dinitridasi dengan menggunakan sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat yang telah terhubung ke komputer dengan *software* M 342 dan menggunakan cairan infus sebagai larutan elektrolit. Setelah pengujian korosi dilakukan, maka dengan menggunakan SEM-EDS kita bisa melihat jenis korosi yang terjadi pada permukaan sampel yaitu korosi lubang (*pitting corrosion*).



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Nitridasi

2.1.1 Pengertian nitridasi

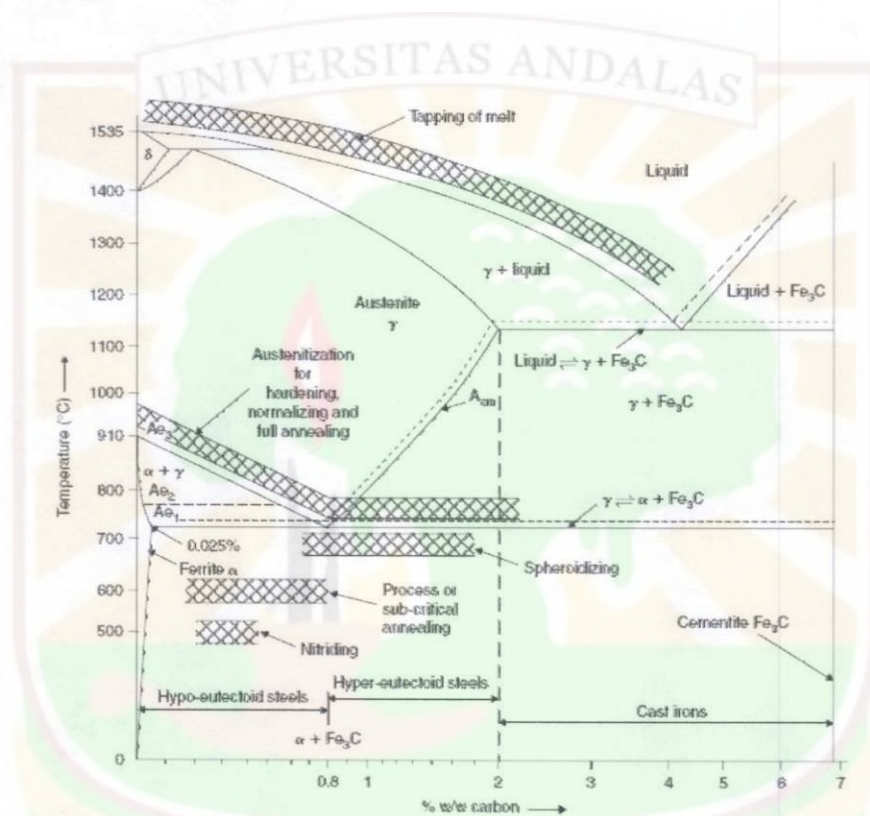
Nitridasi merupakan perlakuan permukaan dengan melibatkan difusi nitrogen ke dalam suatu logam pada temperatur tertentu dan berlangsung dalam jangka waktu tertentu tergantung dari ketebalan lapisan atau aplikasi dari material yang diinginkan. Nitridasi dapat dilakukan dengan metoda *gas nitriding*, *pack nitriding* dan *plasma nitriding*.

Melalui proses nitridasi akan dihasilkan struktur permukaan yang mengandung senyawa nitrida, yang berpengaruh pada sifat material di permukaan yaitu dapat meningkatkan ketahanan korosinya. Proses nitridasi tidak mengubah struktur bahan tapi hanya ada penambahan sedikit volume yang disebabkan difusi nitrogen pada permukaan bahan.

Terbentuknya lapisan besi nitrida sangat terkait dengan keberadaan atom nitrogen (N) dari urea yang digunakan yang berdifusi ke dalam sampel. Difusi atom nitrogen ke dalam sampel berlangsung secara intertisi karena diameter atom nitrogen $0,6 \text{ \AA}$ yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan diameter atom besi yang mencapai $1,4 \text{ \AA}$ (Gambar 2.2). Difusi atom nitrogen ke dalam sampel juga dipengaruhi oleh temperatur dan waktu. Dengan naiknya temperatur, maka jarak antar atom-atom sampel (sasaran) akan lebih besar sehingga kemungkinan difusi atom-atom nitrogen lebih mudah dan daya kelarutan material target lebih besar.

Pada kondisi tertentu, setelah batas kelarutan terpenuhi, maka kelebihan atom-atom nitrogen akan bereaksi dengan atom-atom besi membentuk senyawa nitrida besi (FeN), seperti Fe_2N , Fe_3N dan Fe_4N .

Diagram fasa dari paduan logam besi terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fasa besi - karbon (Amstead, 1989)

Bila kadar karbon baja melampaui 0,20 % sifat *ferrite* mulai terbentuk dan mengendap. Baja yang berkarbon 0,80 % disebut baja *eutectoid* dan struktur terdiri dari 100 % *pearlite* (lapisan ferit dan Fe_3C). Titik *eutectoid* adalah suhu terendah dalam logam dimana terjadi perubahan dalam keadaan larut padat dan merupakan suhu keseimbangan terendah dimana *austenite* terurai menjadi *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C). Baja yang mengandung kadar karbon kurang dari *eutectoid*

(0,80 %) disebut baja *hypoeutectoid* dan baja yang mengandung kadar karbon lebih dari *eutectoid* disebut baja *hypereutectoid* (Amstead, 1989).

2.1.2 Metode Nitridasi

Beberapa metode nitridasi di antaranya :

a. Nitridasi dengan gas (*gas nitriding*)

Nitridasi dapat dilakukan dengan gas nitrogen (N) atau gas amoniak (NH₃) atau campuran keduanya, namun umumnya gas yang digunakan untuk nitridasi adalah gas amoniak (NH₃). Amoniak terdisosiasi seperti pada persamaan 2.1.



Proses ini menghasilkan nitrogen dalam bentuk atom yang kemudian akan diserap oleh *stainless steel*. Nitridasi dengan amoniak dapat menghasilkan daerah persenyawaan (*compound zone*). Senyawa yang terbentuk sangat terkait dengan konsentrasi amoniak atau laju amoniak yang akan menentukan laju difusi nitrogen ke dalam material.

b. Nitridasi dengan padatan (*pack nitriding*)

Nitridasi yang dilakukan dengan metoda *pack nitriding* yaitu menggunakan zat padat (urea) sebagai media penghasil nitrogen. Pada proses ini caranya adalah sampel dimasukkan ke dalam tabung nitridasi yang tertutup rapat yang telah diisi urea kemudian dipanaskan pada temperatur tertentu dalam tungku pemanas. *Pack nitriding* dilakukan untuk mendapatkan lapisan nitrida di permukaan sampel agar ketahanan korosi dapat ditingkatkan.

c. Nitridasi dengan plasma/ion (*plasma/ion nitriding*)

Metode nitridasi plasma merupakan cara untuk membuat lapisan tipis nitrida dengan menggunakan lucutan pijar (*glow discharge*) pada tekanan rendah. Pada perlakuan permukaan menggunakan plasma lucutan pijar, gas-gas seperti N_2 dan NH_3 diplasmakan/diionkan dalam tabung reaktor plasma. Nitridasi dengan teknik plasma lucutan pijar umumnya sampel dipanasi pada temperatur $350\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $650\text{ }^\circ\text{C}$ untuk memperoleh lapisan nitrida yang lebih keras (Setiawan, 2009).

2.2 Korosi

Kata “korosi” berasal dari bahasa latin “*corrade*” yang artinya karat. Korosi dapat juga diartikan sebagai teroksidasinya suatu logam atau pengerusakan logam yang disebabkan oleh adanya reaksi kimia atau elektrokimia akibat adanya elektrolit-elektrolit yang bersentuhan dengan logam. Elektrolit biasanya dalam bentuk garam dan asam. Dalam kehidupan sehari-hari, logam yang teroksidasi disebut dengan karat. Logam yang terkena korosi akan bersifat rapuh dan tidak ada kekuatan. Berdasarkan bentuk kerusakan yang ditimbulkannya pada logam, korosi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Korosi merata

Korosi merata merupakan bentuk korosi yang menyerang seluruh permukaan logam secara serentak pada skala makroskopik.

2. Korosi lubang (*pitting corrosion*)

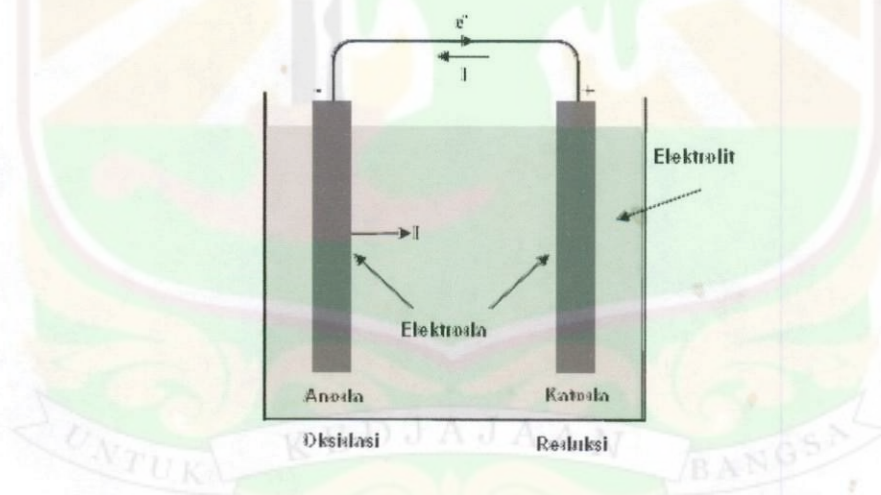
Korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan logam yaitu :

- a. Selaput pelindungnya berupa lapisan pasif pada permukaan logam dan dipercepat oleh larutan elektrolit khususnya elektrolit yang mengandung ion - ion klorida.
- b. Tergores atau retak akibat perlakuan mekanik.

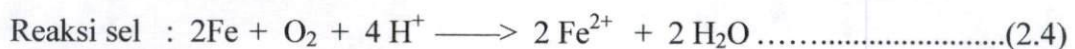
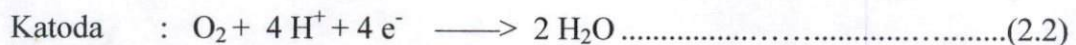
3. Korosi celah

Serangan yang terjadi karena sebagian permukaan logam terhalang atau terasing dari lingkungan dibanding bagian lain logam yang menghadap elektrolit dalam volume besar. Korosi pada celah umumnya terjadi karena adanya jebakan air atau elektrolit diantara celah, sambungan dan sebagainya.

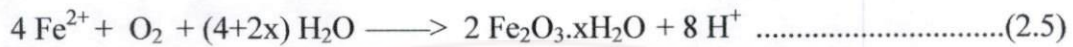
Berikut ini adalah gambar sel korosi yang menunjukkan proses terjadinya korosi pada logam.



Gambar 2.2 Sel korosi



Ion Fe^{2+} akan teroksidasi kembali oleh sejumlah gas oksigen menghasilkan ion Fe^{3+} yang kemudian membentuk senyawa oksida atau karat besi ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Korosi terjadi apabila ada 3 faktor yang saling melengkapi yaitu:

- a. Anoda : dimana reaksi oksidasi (korosi) terjadi dan arus mengalir ke lingkungan, merupakan bagian logam yang terkorosi.
- b. Katoda : dimana reaksi reduksi terjadi dan merupakan bagian logam yang tidak larut dalam elektrolit (tidak terkorosi).
- c. Elektrolit : larutan yang mampu mengalirkan arus listrik antara katoda dan anoda.

Berikut ini adalah reaksi korosi logam dalam larutan elektrolit dan air.

Reaksi yang terjadi pada bagian anoda adalah :



reaksi katodanya adalah :



Seluruh reaksi dapat diperoleh dengan menambahkan persamaan:



2.2.1 Laju Korosi

Laju korosi menunjukkan mudah atau tidaknya suatu material bereaksi dengan lingkungannya. Salah satu teknik dalam menentukan laju korosi yang

sering dilakukan adalah dengan menggunakan sel elektrokimia. Metode ini dilakukan dengan memberikan potensial pada benda uji sehingga akan terjadi korosi yang dimulai dari katoda sampai anoda. Satuan yang umum digunakan untuk laju korosi adalah *milli-inch per year* (mpy). Laju korosi dapat diketahui dengan memasukkan harga arus korosi (I_{corr}) ke dalam persamaan 2.10 (Roberge, 2000).

$$CR = 0,1288 I_{corr} Ew/Ad \dots \dots \dots 2.10$$

dengan:

CR = laju korosi (*milli-inch per year* (mpy))

I_{corr} = arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

Ew = berat ekuivalen (g/ekiv)

A = luas penampang (cm^2)

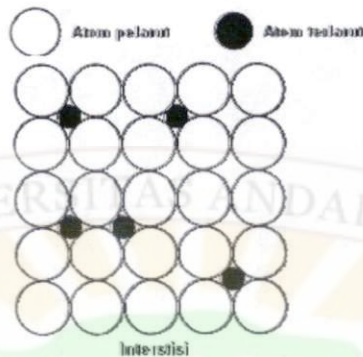
d = densitas (g/cm^3)

0,1288 = faktor konversi (mpy g/ μA cm)

2.3 Difusi Atom dalam Material

Difusi atom pada suatu material dalam keadaan diam dan stabil tidak bergerak lagi apabila berada pada temperatur 0 °K (-273 °C). Pada keadaan ini atom akan berada dalam keadaan energi yang terendah diantara atom-atom disekitarnya. Apabila material tersebut dinaikkan temperaturnya maka energinya akan meningkat dan menyebabkan atom-atom tersebut akan mudah bergerak atau bergeser sehingga menimbulkan jarak atom yang lebih besar dan kemungkinan

atom tersebut mempunyai energi lebih tinggi dan melompat ke posisi baru. Proses pergerakan atom semacam ini dinamakan difusi (Setiawan, 2009).



Gambar 2.3 Mekanisme difusi atom dalam material secara intertisi (Okamoto et al., 1991).

Mekanisme difusi atom secara intertisi menggambarkan pergerakan atom yang tidak terletak pada kisi kristal, tetapi menempati posisi intertisi. Proses ini terjadi pada paduan intertisi dengan atom migrasi yang sangat kecil seperti karbon dan nitrogen dalam besi.

2.4 Karakterisasi Material

2.4.1 Sel Elektrokimia dan Potensiostat/galvanostat

Pada dasarnya perangkat sel elektrokimia atau dikenal sebagai sel tiga elektroda yang merupakan sel korosi bertujuan untuk pengujian korosi. Sel elektrokimia ini terdiri dari tiga elektroda utama yaitu:

1. Elektroda kerja (*working electrode*)

Sebutan untuk elektroda kerja diberikan pada elektroda (sebagai anoda) yang berperan sebagai benda uji yang dicelupkan ke dalam medium sel korosi.

2. Elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*)

Sebutan ini diberikan kepada elektroda (sebagai katoda) yang dimaksudkan khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang timbul sebagai akibat dari reaksi korosi.

3. Elektroda acuan (*reference electrode*)

Elektroda ini dipasang pada jembatan garam (*salt bridge*) dengan jarak sedekat mungkin dengan elektroda kerja. Elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar untuk mengacukan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja serta potensiostat sebagai sumber potensial elektrokimia yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak demikian, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Untuk menghubungkan antara elektroda acuan dan elektroda kerja digunakan jembatan berisi elektrolit berkehantaran tinggi, yaitu garam kalium klorida (KCL).

Potensiostat merupakan alat pengujian elektrokimia yang mengatur beda potensial antara sampel/elektroda kerja dengan elektroda acuan dan mengukur besarnya arus yang mengalir antara elektroda kerja dengan elektroda bantu. Hasil pengukuran arus tersebut dapat dengan segera dikonversikan sehingga diperoleh nilai laju korosi seperti pada persamaan 2.10.

2.4.2 Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk melihat struktur mikro dari sampel yang digunakan. Mikroskop optik menggunakan lensa dan cahaya tampak atau lampu sebagai sumber penyinaran. Mikroskop optik yang banyak digunakan tersusun

dari dua lensa yaitu lensa okuler yang dekat dengan mata dan lensa objektif yang dekat dengan objek. Lensa okuler memiliki perbesaran 10 kali sedangkan lensa objektif memiliki perbesaran 4, 5, 10 dan 20 kali. Cahaya dari luar yang dikumpulkan dan dipantulkan oleh cermin, akan mengenai sampel sehingga menghasilkan bayangan dari sampel yang akan dibesarkan oleh lensa dan kemudian diterima oleh mata.

2.4.3 *Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

Teknik SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data atau tampilan yang diperoleh adalah data dari permukaan atau dari lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan gambar topografi dengan segala tonjolan dan lekukan permukaan. Mikroskop jenis ini dapat memperbesar gambar permukaan objek antara 200.000 – 250.000 kali. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh sampel. Prinsip kerja SEM adalah *scanning* yang berarti bahwa berkas elektron "menyapu" permukaan sampel, titik demi titik dengan sapuan membentuk garis demi garis, mirip seperti gerakan mata yang membaca. Sinyal elektron sekunder dihasilkan dari titik pada permukaan, yang selanjutnya ditangkap oleh SE (*Secondary Electron*) detektor dan kemudian diolah dan ditampilkan pada layar CRT (*Cathode Ray Tube*)/monitor.

Teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui kandungan berbagai unsur kimia dari suatu material, prinsip kerjanya yaitu dengan cara menangkap dan mengolah sinyal sinar-X yang dikeluarkan oleh suatu volume kecil pada sampel. Sinar-X tersebut sebagai akibat interaksi berkas elektron energi tinggi dengan elektron dari atom sasaran, sehingga elektron tersebut tereksitasi, yaitu terlemparnya elektron dari orbit awal ke orbit yang energinya lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi tersebut cenderung kembali ke orbit yang energinya lebih rendah sambil memancarkan energi yang diserap dalam bentuk sinar-X. Dari energi sinar-X yang dipancarkan dapat diketahui jenis atom atau unsur yang terkandung dalam material sasaran.

2.4.4 Difraksi Sinar-X (XRD)

Pada waktu suatu material dikenai sinar-X maka intensitas sinar yang dihamburkan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang menghasilkan pola difraksi.

Berkas sinar-X yang datang pada permukaan kristal akan dipantulkan, dan pantulan terjadi hanya jika sudut datangnya mempunyai sudut tertentu (Gambar 2.3). Syarat terjadinya difraksi harus memenuhi hukum Bragg :

$$2d \sin \theta = n\lambda \dots\dots\dots(2.11)$$

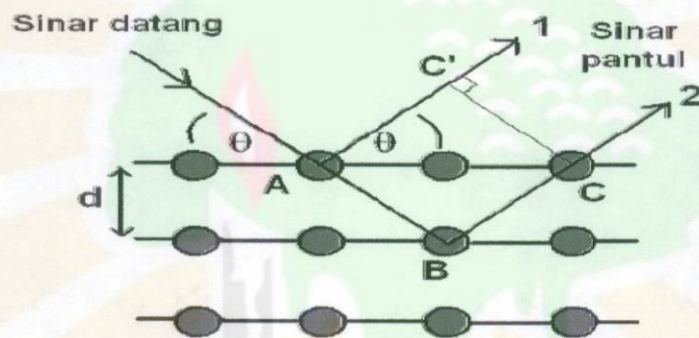
dengan:

d = jarak bidang kristal

θ = sudut difraksi

n = orde difraksi ($n = 1, 2, 3, \dots$)

λ = panjang gelombang sinar-X ($\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$)



Gambar 2.4 Difraksi sinar-X oleh bidang kristal

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan bertempat di Laboratorium Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN), BATAN Serpong Tangerang.

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan penelitian

1. Mesin poles untuk memperhalus permukaan sampel.
2. Tungku pemanas merek KL 600 untuk tempat pemanasan sampel.
3. Difraktometer sinar-X merek Philips tipe APD 3520 sebagai alat identifikasi fasa.
4. Peralatan SEM-EDS merek JEOL JSM-6510LA untuk mengamati struktur mikro dan komposisi kimia sampel.
5. Mikroskop optik merek Nikon untuk melihat struktur permukaan sampel setelah dilakukan pemolesan dan melihat lapisan besi nitrida yang terbentuk setelah dinitridasi.
6. Kertas SiC (Silikon karbon) grit 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000.
7. Sel elektrokimia dan Potensiostat / Galvanostat model 273 dilengkapi komputer dengan *software* M 342 buatan EG&G Research Princeton

Applied Research milik PTBIN-BATAN Serpong Tangerang untuk uji korosi.

8. Kertas tisu untuk membungkus sampel agar tidak terkontaminasi udara luar.

9. Plastik klip untuk menyimpan sampel.

3.2.2 Bahan Penelitian

1. *Stainless steel* AISI (*American Iron and Steel Institute*) 316L dari PT. Meco Inoxprima sebagai sampel penelitian.

Berikut tabel komposisi dari *stainless steel* AISI 316L.

Tabel 3.1 Komposisi *stainless steel* AISI 316L dari PT. Meco Inoxprima

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo	N	Fe
Komposisi (%)	0,03	1,81	0,48	16,70	10,30	0,027	0,001	2,05	0,023	Bal

2. Urea untuk sumber nitrogen.

3. Tanah liat untuk membuat tabung tempat nitridasi.

4. Alkohol untuk mencuci sampel.

5. Cairan infus jenis Otsu-NS (Normal Saline) produk PT. Otsuka Indonesia sebagai larutan elektrolit.

Tabel 3.2 Komposisi cairan infus Otsu-NS PT. Otsuka Indonesia

Elektrolit (mmol/L)		Komposisi larutan		Volume (mL)	pH
Na ⁺	Cl ⁻	Sodium klorida(gram)	Air (mL)	500	7,4
154	154	4,5	Ad.500		

6. Resin untuk bahan *mounting* (dicetak) *stainless steel* AISI 316L.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan tabung tempat nitridasi

Tanah liat dihaluskan dengan mortar dan ditambahkan air. Kemudian dibuat tabung dengan ukuran tinggi tabung 6 cm diameternya 3 cm kemudian dikeringkan pada suhu kamar selanjutnya dimasukkan ke dalam tungku pemanas mulai dari temperatur 50 °C sampai temperatur 700 °C selama 3 jam agar pengeringan tabung lebih sempurna.



Gambar 3.1 Tabung tempat nitridasi

3.3.2 Preparasi Sampel

Sampel *stainless steel* AISI 316L yang digunakan berbentuk lingkaran dengan diameter 1,4 cm dan tebal 1,4 mm sebanyak 20 sampel. Permukaan sampel dihaluskan dengan kertas SiC (silikon karbon) mulai dari grit yang paling kasar sampai ke yang halus berturut-turut yaitu 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500

dan 2000 yang berputar pada mesin poles sambil dialiri air agar tidak menimbulkan panas akibat gesekan dan selanjutnya sampel dicuci dengan alkohol dan sabun untuk membersihkan kotoran yang menempel pada permukaan *stainless steel* tersebut. Kemudian *stainless steel* dikeringkan sebelum dilakukan proses nitridasi.



Gambar 3.2 Mesin poles
(Sumber : PTBIN Serpong, 2010)

3.3.3 Nitridasi Sampel

a. Nitridasi sampel dengan variasi temperatur

Sampel *stainless steel* AISI 316L dan urea 4 gram dimasukkan ke dalam tabung tempat nitridasi dengan variasi temperatur yaitu 380, 400, 420, 440, 460 °C masing-masing selama 3 jam. Setelah nitridasi selesai, kemudian sampel dimasukkan ke dalam plastik klip menggunakan pinset untuk mengurangi kontak dengan kotoran dan udara luar. Selanjutnya dilakukan uji korosi dalam cairan infus dengan menggunakan sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat dengan *software* M 342. Setelah pengujian korosi dilakukan maka akan diperoleh nilai

laju korosi terendah pada *stainless steel* yang telah dinitridasi dengan temperatur optimal. Temperatur optimal ini akan digunakan untuk proses nitridasi dengan variasi urea.

b. Nitridasi sampel dengan variasi urea.

Prosedur yang dilakukan pada nitridasi dengan variasi urea hampir sama dengan yang dilakukan pada variasi temperatur yaitu *stainless steel* AISI 316L dan urea dimasukkan ke dalam tabung nitridasi dengan menggunakan variasi massa urea yaitu 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram yang dipanaskan masing-masing selama 3 jam dalam tungku pemanas dengan menggunakan temperatur optimal yaitu 400 °C, setelah nitridasi selesai selanjutnya dilakukan lagi pengujian korosi untuk masing-masing sampel.

3.3.4 Karakterisasi Material

1. Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik

Mikroskop optik yang telah dihubungkan ke komputer dengan *software* CLMEX digunakan untuk melihat dan mengamati struktur permukaan sampel baik itu sebelum dinitridasi maupun setelah dilakukan nitridasi. Dengan menggunakan mikroskop optik dapat dilihat bentuk permukaan dan tampang lintang sampel, bentuk butir dan batas butir serta lapisan besi nitrida. Untuk dapat melihat dengan jelas lapisan besi nitrida (FeN) yang terbentuk dari proses nitridasi terlebih dahulu sampel *dimounting* (dicetak) dengan menggunakan bahan kimia yaitu resin.

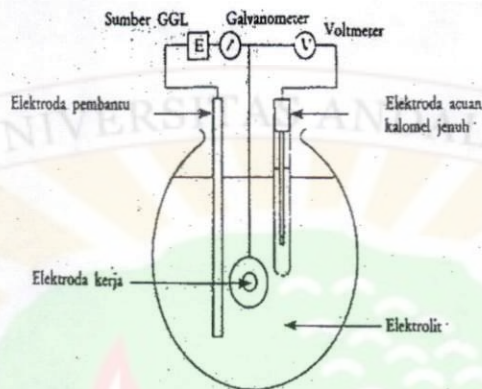


Gambar 3.3 Mikroskop optik
(Sumber : PTBIN Serpong, 2010)

2. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan sel elektrokimia dan potensiostat/galvanostat model 273 yang harus sudah terhubung dengan komputer yang sudah dilengkapi dengan *software* M 342 yang akan mengolah data hasil uji korosi sampel selama pengujian berlangsung dan uji korosi dilakukan dalam cairan infus sebagai larutan pengkorosi, kemudian memasukkan sampel ke dalam larutan pengkorosi bersama elektroda-elektroda yang bertindak sebagai sel elektrokimia yaitu elektroda kerja/sampel (anoda), elektroda pembantu (katoda) dan elektroda acuan sebagai titik dasar untuk mengacukan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja serta potensiostat sebagai sumber potensial elektrokimia yang diberikan pada elektroda kerja. Setelah semua komponen terpasang, kemudian dihubungkan langsung ke potensiostat/galvanostat untuk mengukur besarnya rapat arus korosi I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) dan laju korosi (mpy). Pengujian korosi ini merupakan metoda elektrokimia dengan teknik tahanan

polarisasi (*polarization resistance*). Keluaran yang diharapkan dalam pengujian ini adalah nilai rapat arus korosi yang akan terbaca dalam komputer.

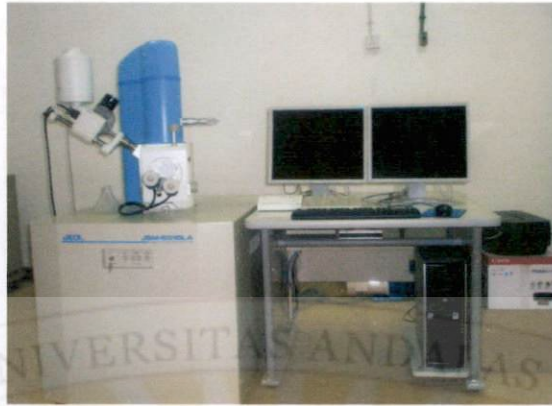


Gambar 3.4 Sel elektrokimia (Chaidir, 2008)

3. Pengujian struktur mikro dengan SEM-EDS

Analisis struktur mikro dengan peralatan SEM untuk mengamati struktur mikro permukaan sampel yang digunakan dan mengambil data EDS pada area tertentu di permukaan sampel hasil SEM untuk mengetahui komposisi kimianya (dalam % massa atau % atom).

Berikut ini adalah peralatan SEM-EDS milik PTBIN Serpong dengan merek JEOL JSM-6510LA yang digunakan untuk melihat struktur mikro permukaan *stainless steel* baik setelah nitridasi maupun sebelum nitridasi dan yang sudah dikorosi.



Gambar 3.5 *Scanning electron microscopy*
(Sumber : PTBIN Serpong, 2010)

4. Identifikasi fasa dengan XRD

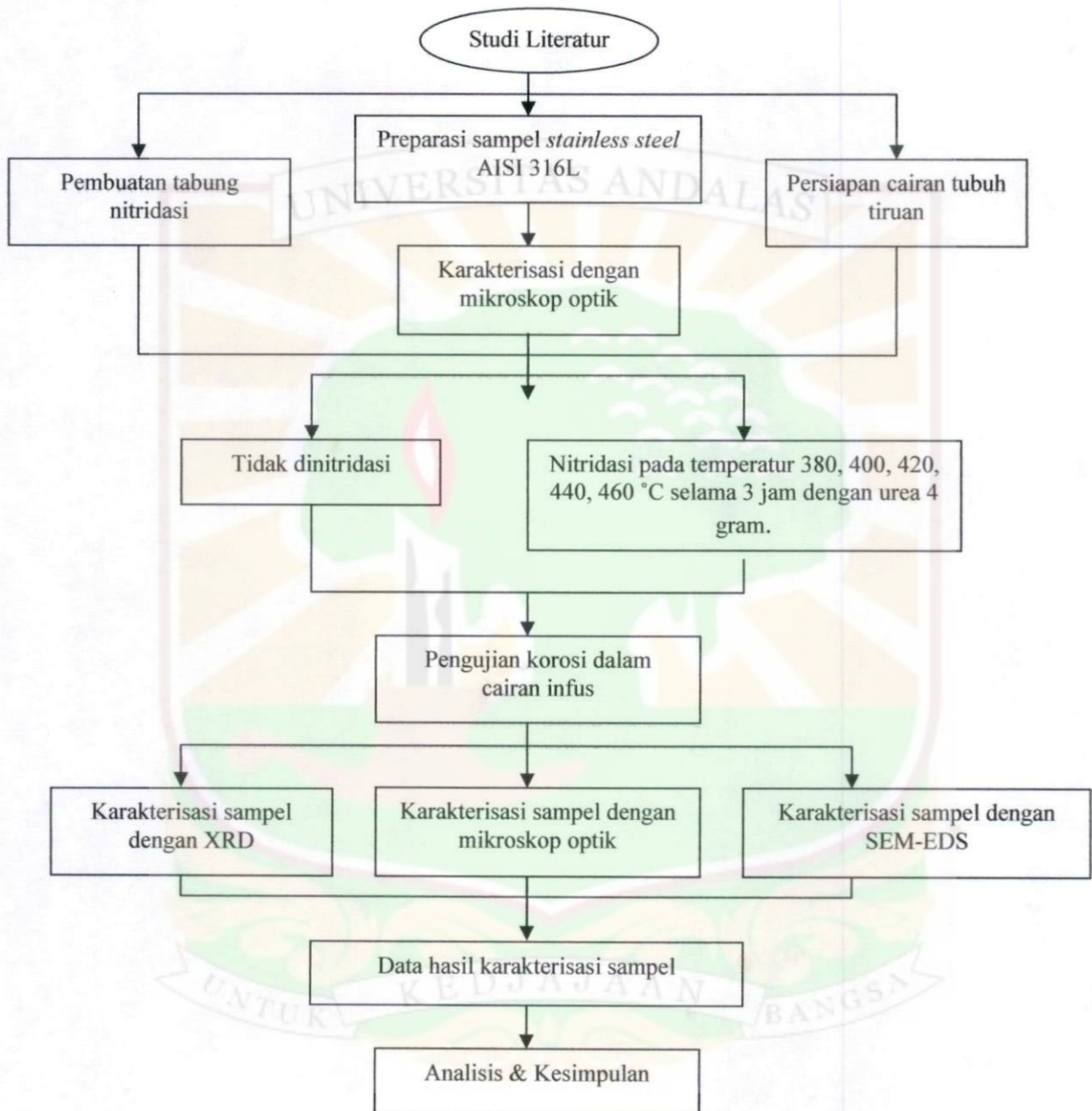
Identifikasi sampel menggunakan peralatan XRD (difraktometer sinar-X) merek Philips tipe APD 3520 dengan panjang gelombang (λ) = 1,5406 Å dan kecepatan *scan* 0,02°/sekon. Identifikasi lapisan besi nitrida berdasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (*data base*) fasa-fasa yang telah dikompilasi dalam bentuk kartu PDF (*Powder Diffraction File*).



Gambar 3.6 Difraktometer sinar-X
(Sumber : PTBIN Serpong, 2010)

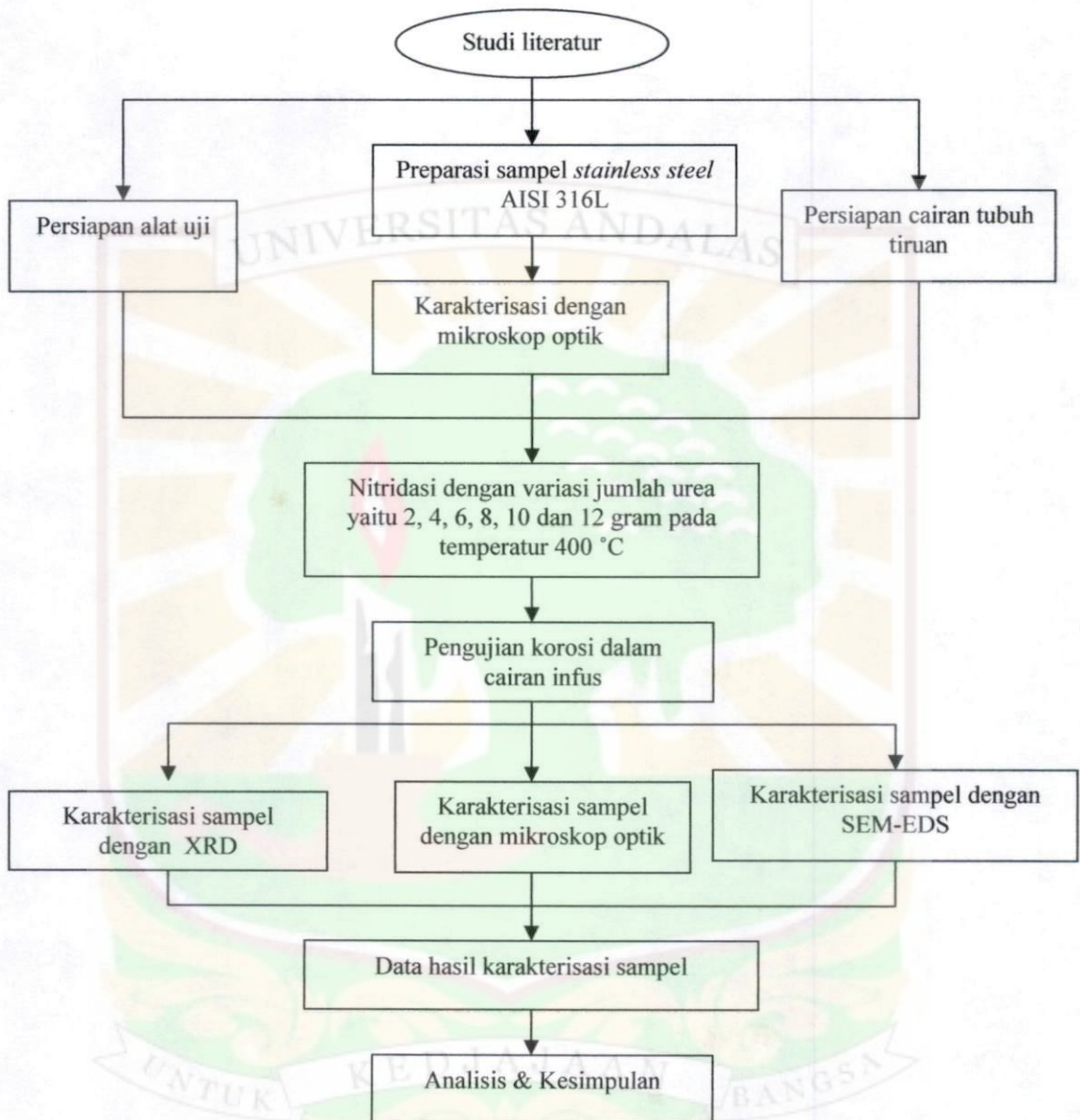
3.4 Alur Penelitian

1. Nitridasi dengan variasi temperatur.



Gambar 3.7 Alur kerja nitridasi dengan variasi temperatur

2. Nitridasi dengan variasi jumlah urea.



Gambar 3.8 Alur kerja nitridasi dengan variasi jumlah urea

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Struktur Mikro Dengan Mikroskop Optik

Sebelum dilakukan nitridasi pada *stainless steel* AISI 316L terlebih dahulu dilakukan pengujian struktur permukaan dengan mikroskop optik, tujuan dilakukan ini adalah melihat dan mengamati apakah permukaan sampel *stainless steel* AISI 316L sudah terlihat rata dan halus.



Gambar 4.1 Struktur mikro *stainless steel* 316L hasil pengamatan mikroskop optik sebelum nitridasi

Gambar 4.1 memperlihatkan bentuk permukaan sampel *stainless steel* AISI 316L yang sudah dihaluskan dengan kertas amplas yang diamati dengan mikroskop optik. Dari gambar terlihat adanya garis-garis halus yang merupakan hasil dari proses pengamplasan pada permukaan *stainless steel* AISI 316L, terlihat jelas bahwa permukaan *stainless steel* AISI 316L tersebut masih bersih dan rata, ini berarti bahwa belum menunjukkan terjadinya korosi

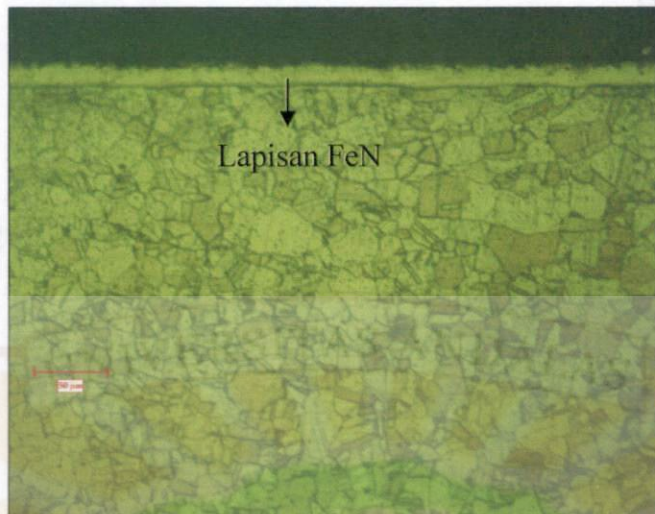
karena belum ada pengaruh lingkungan luar seperti, air, udara, asam dan garam.

Berikut ini adalah bentuk struktur permukaan *stainless steel* AISI 316L yang sudah dinitridasi yang dilihat dengan mikroskop optik.



Gambar 4.2 Struktur permukaan *stainless steel* 316L hasil pengamatan mikroskop optik setelah nitridasi

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa garis-garis pada permukaan *stainless steel* tersebut sebagian sudah terlapisi oleh lapisan besi nitrida, lapisan besi nitrida berwarna kuning keemasan yang merupakan hasil dari proses nitridasi. Sementara itu, kita juga bisa melihat struktur tampang lintang *stainless steel* AISI 316L seperti pada Gambar 4.3. Tampang lintang dilihat dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran gambar 20 kali.



Gambar 4.3 Tampang lintang *stainless steel* 316L setelah nitridasi pada temperatur 400 °C selama 3 jam

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat lapisan besi nitrida yang terbentuk pada permukaan *stainless steel* 316L hasil dari proses nitridasi. Lapisan nitrida ini dapat melindungi *stainless steel* AISI 316L dari serangan korosi.

4.2 Pengujian Korosi

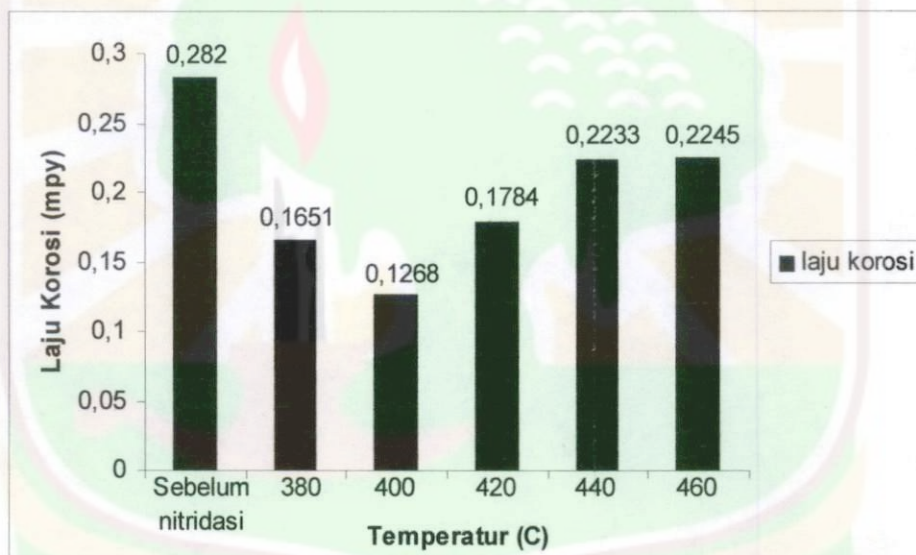
Hasil pengujian korosi terhadap *stainless steel* AISI 316L sebelum nitridasi dan nitridasi pada temperatur 380, 400, 420, 440 dan 460 °C selama 3 jam dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Laju korosi *stainless steel* 316L sebelum nitridasi dan nitridasi pada temperatur 380, 400, 420, 440, dan 460 °C dengan 4 gram urea selama 3 jam

No	Temperatur nitridasi (°C)	Rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju korosi (mpy)
1.	Sebelum nitridasi	0,68	0,2820

2	380	0,4	0,1651
3	400	0,31	0,1268
4	420	0,43	0,1784
5	440	0,54	0,2233
6	460	0,54	0,2245

Apabila data dalam Tabel 4.1 digambarkan dalam bentuk grafik, maka hubungan antara temperatur nitridasi dan laju korosi terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara temperatur nitridasi dan laju korosi

Dari hasil uji korosi *stainless steel* 316L sebelum nitridasi dan setelah nitridasi pada temperatur 380, 400, 420, 440 dan 460 °C dengan jumlah urea 4 gram selama 3 jam diperoleh laju korosi yang paling rendah (ketahanan korosi yang paling baik) adalah sampel nitridasi pada temperatur 400 °C yaitu 0,1268 mpy. Bila dibandingkan dengan sebelum dinitridasi terjadi peningkatan ketahanan korosi sekitar 2 kali dari 0,2820 mpy menjadi 0,1268 mpy. Pengujian korosi

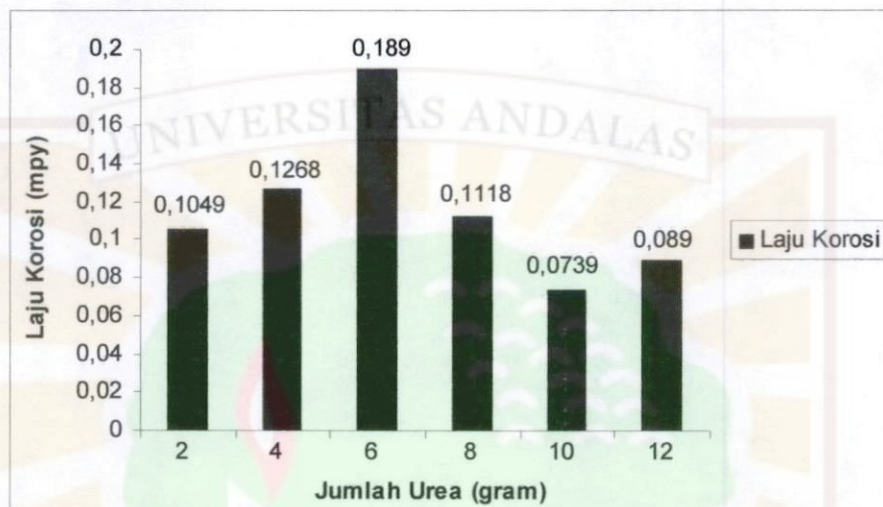
sampel *stainless steel* AISI 316L dalam cairan tubuh tiruan (0,9 % larutan sodium klorida) dilakukan menggunakan metode elektrokimia dengan teknik tahanan polarisasi (*polarization resistance*) menggunakan potensiostat/galvanostat model 273. Ukuran ketahanan korosi sampel dapat dilihat dari harga rapat arus korosi selama pengujian berlangsung. Semakin besar rapat arus korosi maka semakin besar pula terjadinya korosi pada sampel, dan begitu juga sebaliknya. Sedangkan nilai laju korosi CR (mpy) dapat diketahui setelah memasukkan harga rapat arus korosi (I_{corr}) ke dalam rumus laju korosi persamaan 2.10.

Hasil pengujian korosi sampel setelah nitridasi dengan variasi jumlah urea 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram pada temperatur 400 °C selama 3 jam dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Laju korosi sampel setelah nitridasi pada temperatur 400 °C selama 3 jam dengan variasi urea 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram

No	Urea (gram)	Suhu (°C)	Laju Korosi (mpy)
1.	2	400	0,1049
2.	4	400	0,1268
3.	6	400	0,1890
4.	8	400	0,1118
5.	10	400	0,0739
6.	12	400	0,0890

Apabila data Tabel 4.2 digambarkan dalam bentuk grafik, maka hubungan antara jumlah urea dan laju korosi terlihat pada Gambar 4.5.

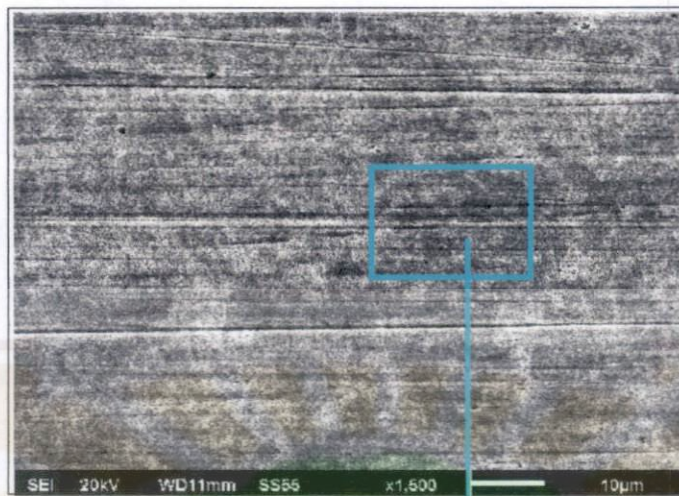


Gambar 4.5 Grafik hubungan antara jumlah urea dan laju korosi

Dari hasil uji korosi *stainless steel* 316L dengan variasi jumlah urea pada temperatur nitridasi 400 °C selama 3 jam diperoleh laju korosi yang paling kecil adalah yang dinitridasi dengan jumlah urea 10 gram yaitu 0,0739 mpy. Bila dibandingkan dengan sampel sebelum nitridasi diperoleh peningkatan ketahanan korosi sekitar 4 kali dari 0,2820 mpy menjadi 0,0739 mpy.

4.3 Pengujian Struktur Mikro Dengan SEM-EDS

Hasil pengamatan struktur mikro sampel menggunakan SEM dengan perbesaran 1500 kali dan komposisi kimia dengan EDS pada suatu area tertentu pada sampel sebelum dinitridasi dan belum dikorosi, seperti ditampilkan pada Gambar 4.6.

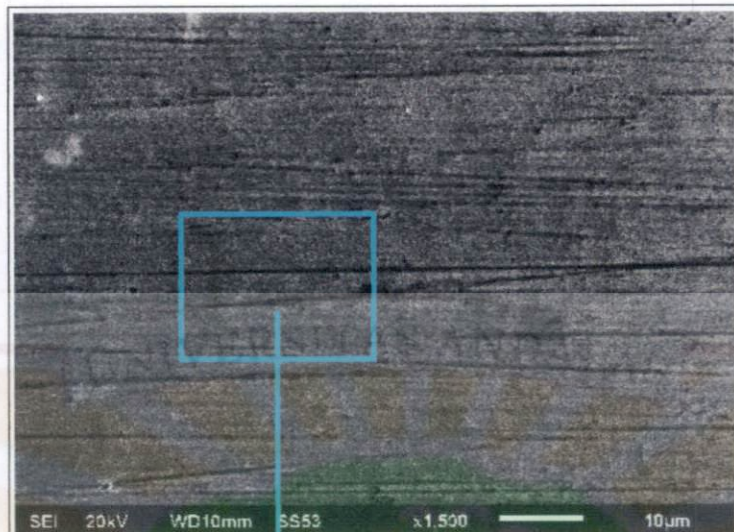


Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
Cr	5,411	18,84	0,15	20,27
Fe	6,398	66,63	0,21	66,74
Ni	7,471	12,23	0,36	11,65
Mo	2,293	2,31	0,21	1,35
Total		100		100

Gambar 4.6 Struktur mikro *stainless steel* 316L sebelum nitridasi

Gambar 4.6 terlihat adanya goresan-goresan yang merupakan akibat pengamplasan sewaktu preparasi sampel meskipun sudah menggunakan amplas grit 1500. Dari hasil uji komposisi kimia permukaan dengan EDS menunjukkan komposisi massa % yaitu Cr 18,84; Fe 66,63; Ni 12,23; dan Mo 2,31 % bila dibandingkan dengan Tabel 3.1. Adanya perbedaan komposisi antara Tabel 3.1 dengan hasil uji komposisi dengan EDS disebabkan karena sampel yang digunakan kurang homogen selama proses pembuatan *stainless steel* tersebut.

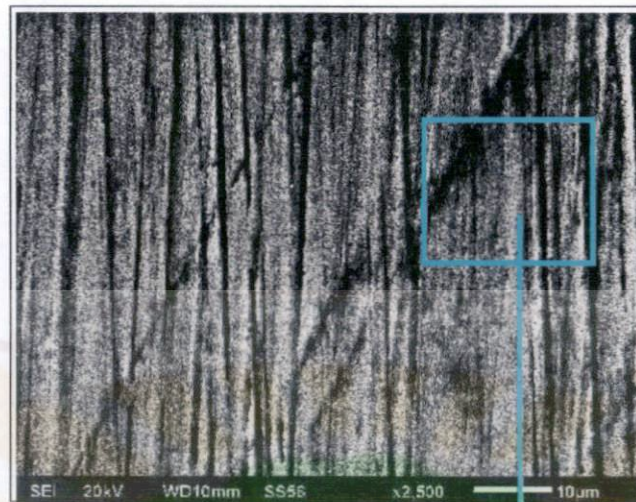
Pengamatan struktur mikro sampel yang dinitridasi pada temperatur 400°C dengan 10 gram urea selama 3 jam menggunakan SEM-EDS dapat dilihat pada Gambar 4.7



Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
C	0,277	5,34	0,07	17,17
N	0,392	1,65	0,20	4,54
O	0,525	7,70	0,14	18,58
Ti	4,508	6,46	0,10	5,21
Cr	5,411	16,13	0,15	11,98
Fe	6,398	52,00	0,20	35,96
Ni	7,471	8,84	0,33	5,81
Mo	2,293	1,89	0,19	0,76
Total		100		100

Gambar 4.7 Struktur mikro *stainless steel* 316L nitridasi pada temperatur 400 °C dengan 10 gram urea selama 3 jam

Seperti sampel sebelumnya goresannya merupakan akibat hasil preparasi sampel. Komposisi atom nitrogen (N) yang terdeteksi pada permukaan sekitar 1,65 % massa dan 4,54 % atom. Hal ini menunjukkan bahwa adanya lapisan nitrogen di permukaan *stainless steel* sebagai hasil dari proses nitridasi yang telah dilakukan. Dari hasil uji komposisi dengan EDS diperoleh struktur mikro sampel yang dinitridasi pada temperatur 460°C selama 3 jam menggunakan 4 gram urea.



Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
C	0,277	8,36	0,08	29,39
N	0,392	0,65	0,24	1,97
O	0,525	5,60	0,11	12,82
Cr	5,411	15,77	0,15	11,11
Fe	6,398	57,50	0,21	37,69
Ni	7,471	8,71	0,35	5,43
Mo	2,293	1,83	0,20	0,30
Total		100		100

Gambar 4.8 Struktur mikro *stainless steel* 316L nitridasi pada temperatur 460 °C dengan 4 gram urea selama 3 jam

Gambar 4.8 menjelaskan bahwa dari hasil pengujian struktur mikro dengan SEM-EDS pada *stainless steel* 316L yang sudah dinitridasi pada temperatur 460 °C dengan urea 4 gram diketahui adanya kandungan nitrogen yang terdeteksi di permukaan *stainless steel* yaitu 0,65 % massa dan 1,97 % atom.

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa rendahnya komposisi nitrogen (N) yang terdeteksi pada data EDS bisa disebabkan oleh faktor alat dan tipisnya lapisan nitrida yang terbentuk dari hasil proses nitridasi. Selain itu, munculnya atom oksigen dalam data EDS yang jumlahnya melampaui komposisi atom nitrogen, yaitu sekitar 7,70 % massa dan 18,58 % atom untuk

sampel yang dinitridasi pada temperatur 400°C dengan 10 gram urea selama 3 jam dan sekitar 5,60 % massa dan 12,82 % atom untuk sampel yang dinitridasi pada temperatur 460 °C dengan urea 4 gram selama 3 jam. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya oksigen yang terperangkap dalam tabung nitridasi dan tungku pemanas disaat proses nitridasi berlangsung sehingga bereaksi dengan permukaan sampel, atau saat pendinginan dalam udara bebas yang tidak bisa dihindarkan.

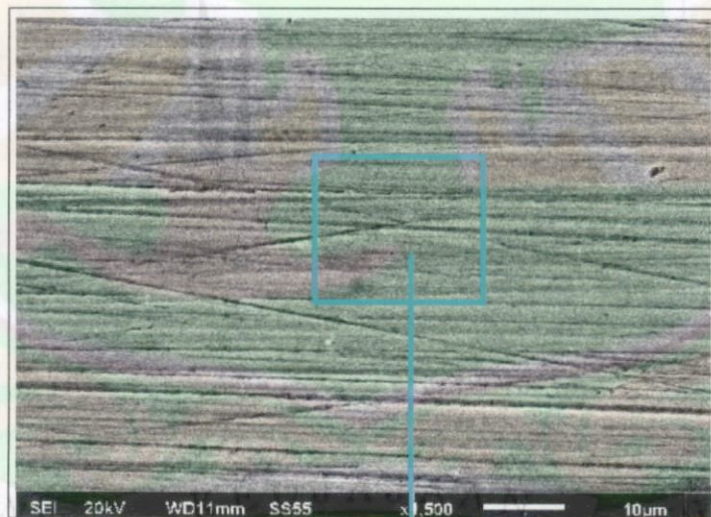
Hasil pengamatan struktur mikro dan komposisi kimia di area tertentu menggunakan SEM-EDS pada sampel yang tidak dinitridasi dan telah terkorosi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
C	0,277	6,93	0,08	24,58
O	0,525	2,41	0,10	6,41
Cr	5,411	17,16	0,14	14,06
Fe	6,398	60,55	0,20	46,19
Ni	7,471	10,69	0,34	7,76
Mo	2,293	2,26	0,20	1,00
Total		100		100

Gambar 4.9 Struktur mikro *stainless steel* 316L sebelum nitridasi dan telah dikorosi

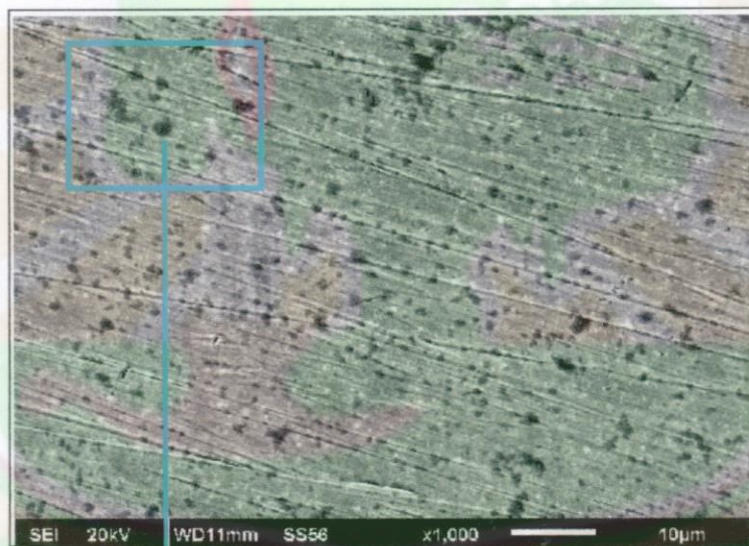
Terlihat adanya korosi bentuk sumur (*pitting corrosion*) ini sering terjadi pada media yang mengandung garam yang berasal dari media korosi. Hal ini disebabkan pada *stainless steel* yang tidak dinitridasi hanya terdapat lapis lindung Cr_2O_3 sehingga lebih mudah terkorosi dibandingkan dengan sampel yang telah dinitridasi. *Stainless steel* AISI 316L yang dinitridasi pada temperatur 400°C selama 3 jam dengan urea 10 gram setelah uji korosi struktur mikronya dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari gambar terlihat bahwa *stainless steel* 316L yang dikorosi dan dinitridasi pada suhu 400°C selama 3 jam dengan 10 gram urea tidak terlihat adanya lubang korosi pada permukaannya.



Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
C	0,277	17,37	0,06	48,94
O	0,525	0,70	0,10	1,49
Cr	5,411	15,40	0,12	10,03
Fe	6,398	54,49	0,17	33,03
Ni	7,471	10,12	0,29	5,84
Mo	2,293	1,92	0,16	0,68
Total		100		100

Gambar 4.10 Struktur mikro *stainless steel* 316L nitridasi pada temperatur 400°C dengan 10 gram urea selama 3 jam dan telah dikorosi

Sedangkan sampel yang dinitridasi pada temperatur 460 °C dengan 4 gram urea selama 3 jam memiliki ketahanan korosi paling buruk dan bahkan lebih buruk dari sampel yang belum dinitridasi dan struktur mikronya setelah diuji korosi dapat dilihat pada Gambar 4.11. Pada permukaan sampel yang dinitridasi pada temperatur 460 °C dengan urea 4 gram terlihat banyak pori-pori (lubang korosi), hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi korosi pada permukaan sampel. Lubang korosi (*pitting corrosion*) terjadi setelah dilakukan uji korosi di dalam cairan infus (elektrolit).

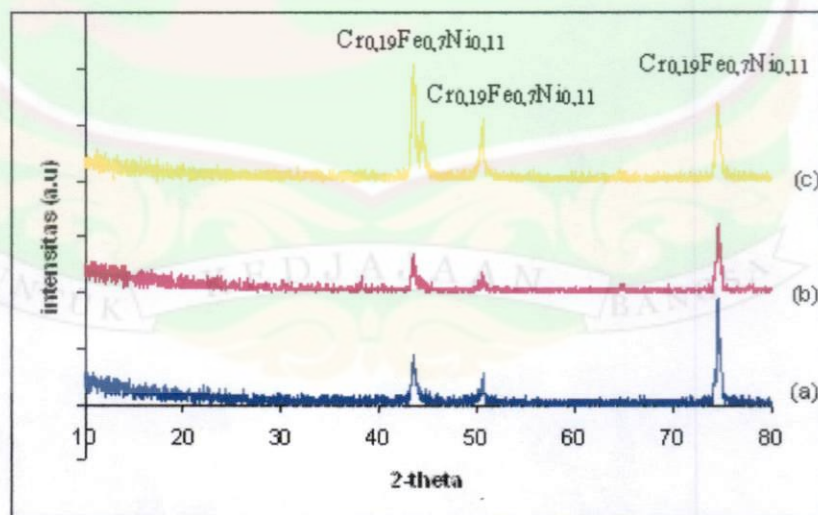


Elemen	(keV)	Massa %	Error %	Atom %
O	0,525	0,88	0,09	3,02
Cr	5,411	18,71	0,15	19,68
Fe	6,398	65,91	0,22	64,56
Ni	7,471	12,37	0,36	11,53
Mo	2,293	2,12	0,21	1,21
Total		100		100

Gambar 4.11. Struktur mikro *stainless steel* 316L nitridasi pada temperatur 460 °C selama 3 jam dan telah dikorosi

4.4 Identifikasi Fasa Dengan Difraktometer Sinar-X (XRD)

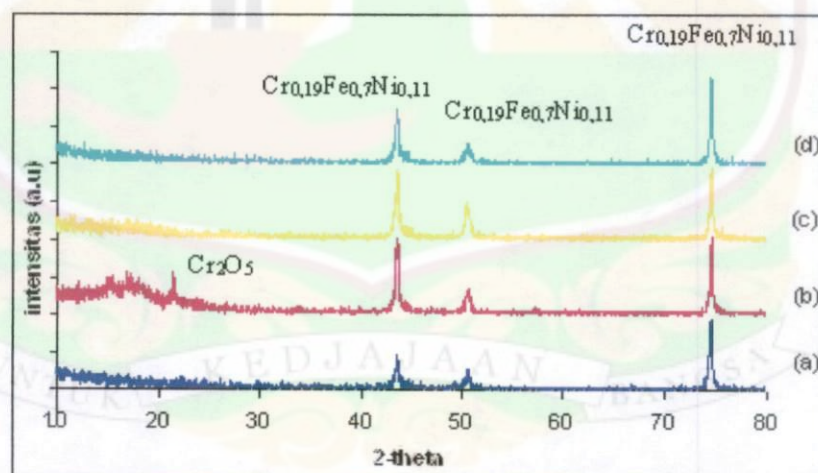
Pengujian XRD hanya dilakukan terhadap sampel dengan hasil nitridasi dan korosi terbaik dan terburuk. Sebagai pembanding dilakukan juga terhadap sampel sebelum nitridasi dan tidak dikorosi. Pengujian dengan XRD hanya untuk membuktikan bahwa di permukaan *stainless steel* AISI 316L terdapat lapisan nitrida hasil proses nitridasi dengan metoda *pack nitriding*. Pengukuran dilakukan pada sudut (2θ) mulai dari 10° hingga 80° dan hasil pengujian dengan XRD dapat dilihat pada (Lampiran A). Pola difraksi hasil pengukuran dengan XRD seperti ditampilkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Gambar 4.12 menunjukkan adanya sedikit perbedaan pola difraksi sampel sebelum nitridasi maupun setelah nitridasi. Perubahan-perubahan yang terjadi sangat sedikit terkait dengan tinggi dan pelebaran puncak difraksi.



Gambar 4.12 Pola difraksi sampel (a) Sebelum nitridasi (b) Nitridasi urea 10 gram temperatur $400^\circ C$ (c) Nitridasi urea 4 gram temperatur $460^\circ C$

Fasa yang tampak sebagian besar adalah austenit yang merupakan fasa dari material induk (*base metal*) seperti Gambar 4.13. Apabila dilakukan pencocokan pola difraksi dengan *data base* (*Search-Match*) diperoleh rumus fasa austenit $\text{Cr}_{0,19}\text{Fe}_{0,7}\text{Ni}_{0,11}$ (kromium-besi-nikel) setelah dicocokkan juga dengan referensi atau penelitian sebelumnya terkait dengan sudut-sudut (2θ) maupun bidang-bidang terjadinya difraksi oleh kristal. Tidak terdeteksinya senyawa besi nitrida (FeN) oleh difraktometer sinar-X hasil dari proses nitridasi disebabkan tipisnya lapisan besi nitrida yang terbentuk.

Gambar 4.13 menunjukkan adanya sedikit perbedaan pola difraksi sampel sebelum dikorosi maupun setelah dikorosi. Perubahan-perubahan yang terjadi sangat sedikit terkait dengan tinggi dan pelebaran puncak difraksi.



Gambar 4.13 Pola difraksi sampel (a) Sebelum nitridasi (b) Sebelum nitridasi dan sudah dikorosi (c) Korosi urea 10 gram temperatur 400°C (d) Korosi urea 4 gram temperatur 460°C

Pengujian XRD dapat dilihat pada (Lampiran A) dan untuk sampel sebelum nitridasi (Gambar 4.13a) fasa yang tampak sebagian besar adalah austenit yang merupakan fasa dari material induk (*base metal*) bidang-bidang untuk austenit (f.c.c) adalah (111), (200), (220), (311), (222). Sedangkan untuk sampel sebelum nitridasi yang telah dikorosi (Gambar 4.13b) terlihat munculnya fasa baru dengan posisi puncak pada (2θ) $14,937^\circ$ dan $21,524^\circ$ dengan intensitas relatif berturut-turut sebesar 18,5 % dan 34,8 % adalah Cr_2O_5 setelah dicocokkan dengan kartu PDF nomor 36-1329 (Lampiran B). Puncak baru yang muncul pada pola difraksi sinar-X adalah Cr_2O_5 yang merupakan lapisan lindung yang dimiliki *stainless steel* dimana lapisan ini melindungi *stainless steel* dari korosi. Puncak tersebut muncul setelah *stainless steel* 316L dikorosi tetapi untuk *stainless steel* sesudah nitridasi tidak muncul fasa Cr_2O_5 karena permukaan *stainless steel* sudah dilapisi besi nitrida sehingga atom oksigen sulit untuk bisa masuk ke permukaan *stainless steel* membentuk Cr_2O_5 . Krom (Cr) dalam *stainless steel* berfungsi sebagai lapisan lindung pada permukaannya, sehingga disaat terjadi korosi maka krom akan bereaksi dengan oksigen membentuk kromium oksida. Puncak Cr_2O_5 tidak muncul pada pola difraksi *stainless steel* yang sudah dikorosi dan dinitridasi karena pada *stainless steel* yang sudah dinitridasi pada permukaannya telah dilapisi oleh senyawa besi nitrida (FeN) sehingga oksigen lebih sulit untuk bereaksi dengan besi. Tidak terdeteksinya unsur nitrida pada karakterisasi dengan difraktometer sinar-X karena tipisnya lapisan besi nitrida yang terbentuk hasil proses nitridasi.

Sampel yang dinitridasi dengan 10 gram urea pada temperatur 400 °C dan dikorosi (Gambar 4.13c) pola difraksi dengan posisi puncak pada (2 θ) yaitu 43,64° ; 44,399° dan 50,719° ; 74,6 sedangkan intensitas relatif berturut-turut yaitu 100 ; 14 ; 43 ; 97,7 %. Dari hasil pola difraksi terlihat bahwa adanya puncak baru pada posisi (2 θ) 44,399° dengan intensitas relatif sebesar 14 % adalah Fe₃N, setelah dicocokkan dengan kartu PDF nomor 83-0879 (Lampiran B).

Sementara itu sampel yang dikorosi pada temperatur 460 °C (Gambar 4.13d) mempunyai pola difraksi dengan posisi puncak (2 θ) yaitu 43,6° ; 44,076° ; 50,738° dan 74,561° dan intensitas relatifnya adalah 64,8 ; 15,2 ; 17,1 dan 100 %. Setelah dicocokkan dengan kartu PDF (*Powder Diffraction Files*) nomor 33-0397 (Lampiran B) ternyata ada muncul puncak baru pada posisi (2 θ) 44,077° puncak tersebut adalah Fe₃N setelah dicocokkan dengan kartu PDF nomor 83-0879 (Lampiran B). Hasil identifikasi material dengan XRD dapat dilihat puncak-puncak yang muncul pada *stainless steel* 316L yang telah dilakukan nitridasi adalah senyawa besi nitrida (FeN).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil uji korosi *stainless steel* AISI 316L dengan nitridasi pada temperatur 380, 400, 420, 440, dan 460 °C dan urea 4 gram diperoleh laju korosi yang paling rendah atau ketahanan korosi paling tinggi pada temperatur 400 °C yaitu 0,1268 mpy.
2. Hasil uji korosi *stainless steel* AISI 316L nitridasi pada temperatur 400 °C dengan variasi jumlah urea 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram diperoleh laju korosi yang paling rendah dengan nitridasi urea 10 gram yaitu 0,0739. Dalam hal ini terjadi peningkatan ketahanan korosi sekitar 4 kali dari sebelum nitridasi yaitu 0,282 mpy menjadi 0,0739 mpy setelah nitridasi.
3. Dari hasil uji struktur mikro dengan SEM diperoleh sampel yang mempunyai ketahanan korosi yang paling baik tidak banyak terdapat lubang korosi sedangkan pada ketahanan korosi yang buruk ditemui banyak terdapat lubang korosi (*pitting corrosion*) sedangkan hasil identifikasi fasa dengan difraktometer sinar-X (XRD) menunjukkan bahwa terdapat lapisan besi nitrida di permukaan *stainless steel*.

5.1 Saran

1. Untuk penelitian dengan metoda *pack nitriding* selanjutnya disarankan agar disaat dilakukan variasi temperatur sekaligus juga dilakukan variasi jumlah urea untuk masing-masing temperatur.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan teknik nitridasi yang tepat sebagai teknik rekayasa permukaan terhadap jenis material yang berbeda untuk berbagai aplikasi terkait dengan sifat korosi.



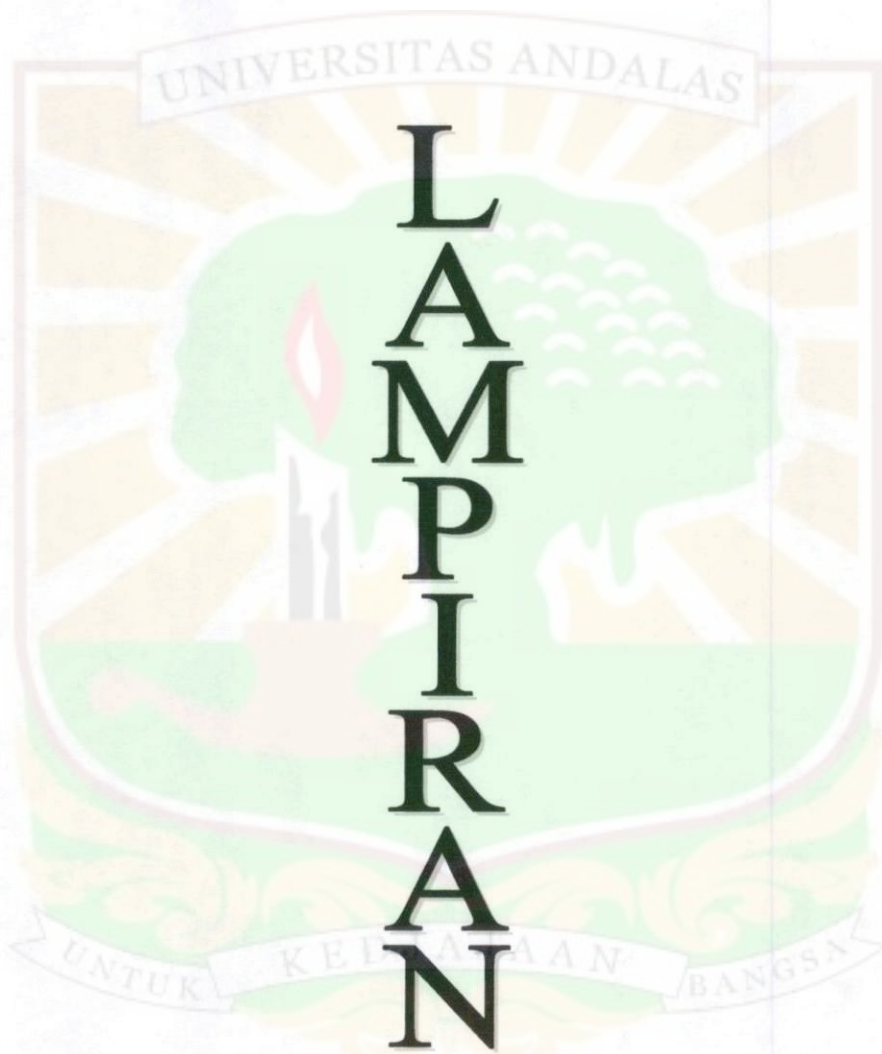
DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, 1989. *Teknologi Mekanik Jilid I Edisi ketujuh versi SI*. Jakarta: Erlangga.
- Chaidir, A., 2008. "Penentuan Laju Korosi Paduan ZrNbSnFe dengan Metode Elektrokimia", *Prosiding Seminar Pengelolaan Perangkat Nuklir Tahun 2008*. PTBIN-BATAN Serpong. hal. 46-51.
- Conrad, H., Kneer, Metlab, 2003. "Surface Hardning of Steel: Gas Nitriding of Steels", *ASM Handbook*, ASM International. vol. 4, hal. 906-909.
- Craig, B. D. dan Lane, R., 2006. *Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials*, AMMTIAC, Rome, New York.
- Darbellay, 2006. "Gas Nitriding: An Industrial Perspective By", *Jerome Seminar Department of Materials Science and Engineering*, McMaster University.
- Darminto, 2008. *Pengantar Kristalografi dan Difraksi Kristal*. Laboratorium Difraksi Sinar-X, LPPM ITS. Surabaya.
- Khelfaoui, Y., Kerkar, M., Bali, A., Dalar, F., 2006. "Electrochemical Characterisation of a PVD Film of Titanium on AISI 316L Implant Stainless Steel", *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, hal. 4523-4529.
- Kumachi, M., Sridhar, Raj, B., 2003. "Corrosion of Bio Implants". *Metalurgy and Materials Group*, vol. 28, parts 3 & 4, hal 601-637.
- Liang, W., Xiaolei, Jiujun, Yaqin, 2001. "Characteristics of Low Pressure Plasma Arc Source Ion Nitride Layer on Austenitic Stainless Steel at Low Temperature", *Thin Solid Film*, vol. 391, hal 11-16.
- Okamoto, H. and Massalski, T. B., 1991. "Alloy Phase Diagrams", *ASM Handbook*, ASM International. Vol. 3, hal. 33.
- Roberge, P. R., 2000. *Handbook of Corrossion Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Smallman, R. E. dan Bishop R. J., 1999. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Materi*, Edisi ke-6. Terjemahan oleh Sriati Djaprie. Erlangga: Jakarta.

Setiawan, D. 2009. *Pengaruh Nitridasi Terhadap Laju Ketahanan Korosi Stainless Steel AISI 316L Dalam Cairan Tubuh Tiruan*. Tesis S-2. Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.

Tjipto, S., 2003. *Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatment: Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta.





LAMPPIRAN

LAMPIRAN A

Data Hasil Identifikasi Sampel Dengan XRD

Tabel A.1 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L sebelum nitridasi

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	43,561	0,518	1067	4	2,076	35	43,8
2.	50,721	0,436	564	3	1,7984	22	27,5
3.	74,619	0,424	1995	3	1,2708	80	100

Tabel A.2 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L sebelum nitridasi dan sudah dikorosi

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	14,937	0,501	501	29	5,9262	17	18,5
2.	21,524	0,325	612	16	4,1251	32	34,8
3.	43,541	0,467	2526	4	2,0769	92	100
4.	50,582	0,532	908	3	1,803	29	31,5
5.	74,581	0,384	2079	3	1,2714	92	100

Tabel A.3 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L nitridasi pada suhu 400 °C dengan 10 gram urea selama 3 jam.

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	38,28	0,433	299	2	2,3493	9	17,3
2.	43,58	0,455	750	3	2,0751	28	53,8
3.	50,76	0,564	365	2	1,7971	11	21,2

4.	74,56	0,402	1229	2	1,2717	52	100
5.	74,777	0,646	1254	2	1,2685	33	63,5

Tabel A.4 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L yang dinitridasi pada suhu 400 °C dengan 10 gram urea selama 3 jam dan dikorosi

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	43,64	0,492	2487	4	2,0724	86	100
2.	44,399	1,234	871	4	2,0387	12	14
3.	50,719	0,621	1352	4	1,7985	37	43
4.	74,6	0,375	1853	4	1,2711	84	97,7

Tabel A.5 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L dinitridasi pada 460 °C urea 4 gram

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	43,581	0,405	2454	5	2,075	103	100
2.	44,62	0,577	1426	5	2,0291	42	40,8
3.	50,62	0,573	1482	3	1,8017	44	42,7
4.	74,559	0,453	1707	3	1,2717	64	62,1

Tabel A.6 Sudut difraksi (2θ) sampel *stainless steel* 316L dinitridasi pada 460 °C dengan 4 gram urea yang telah dikorosikan

No	2-Theta	FWHM	Area	BG	d (Å)	Height	I(%)
1.	43,6	0,48	1919	4	2,0742	68	64,8

2.	44,077	0,872	821	4	2,0528	16	15,2
3.	50,738	0,586	621	4	1,7978	18	17,1
4.	74,561	0,4	2472	3	1,2717	105	100

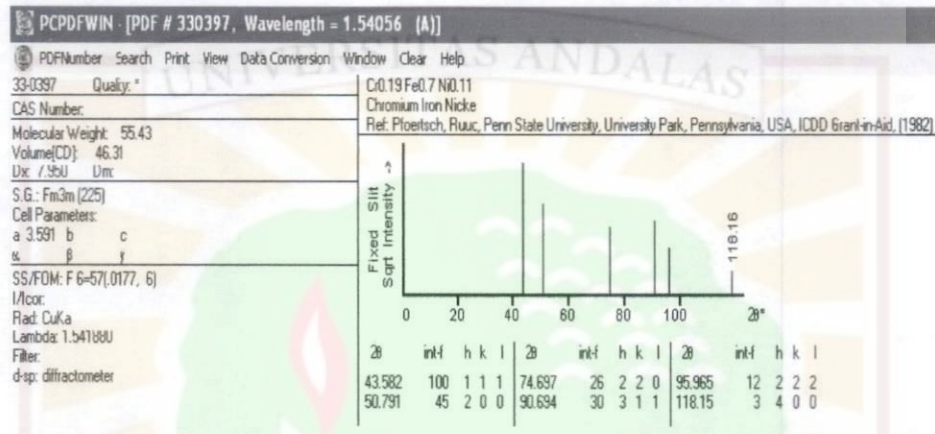


LAMPIRAN B

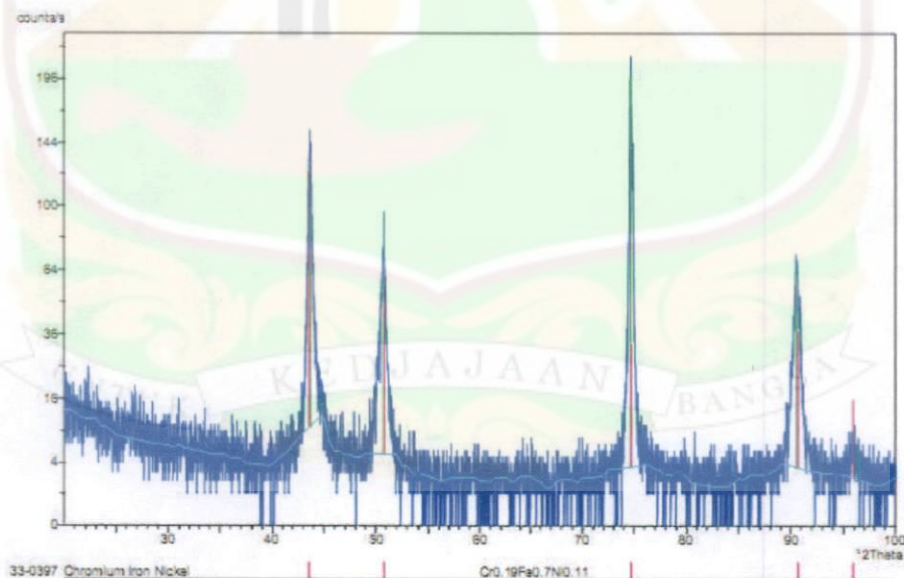
Kartu PDF (*Powder Diffraction File*)

1. Nomor kartu PDF (*Powder Diffraction File*) untuk pola difraksi.

Contoh: material dasar (*base metal*) *stainless steel* AISI 316L sebelum nitridasi.

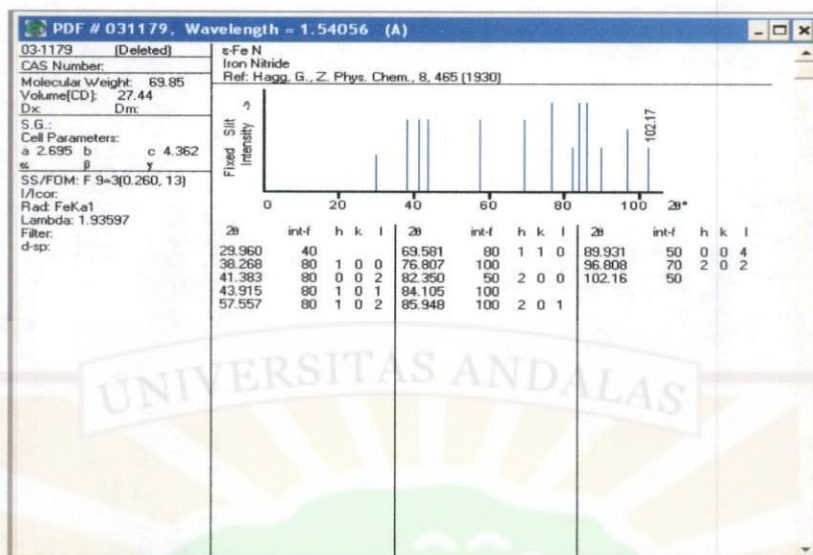


Bila menggunakan program komputer (*Search-Match*)

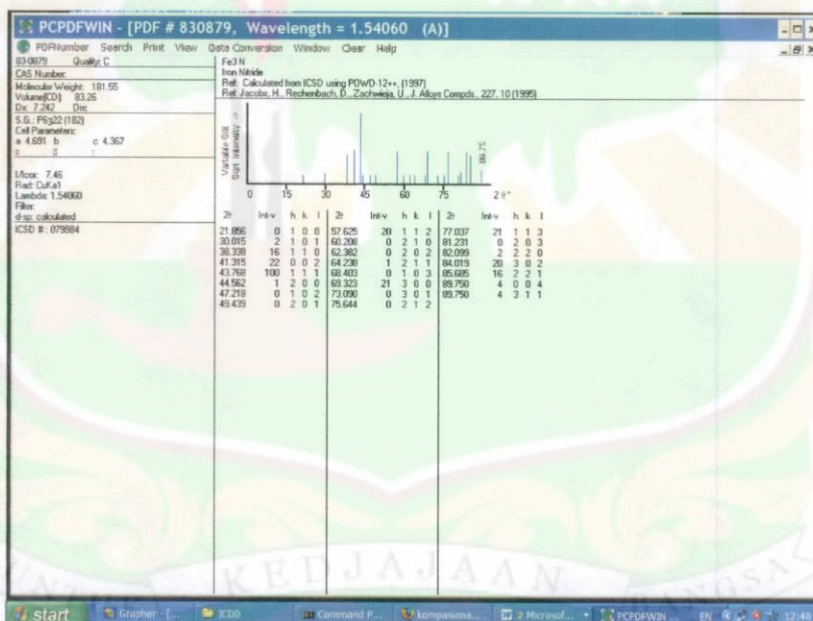


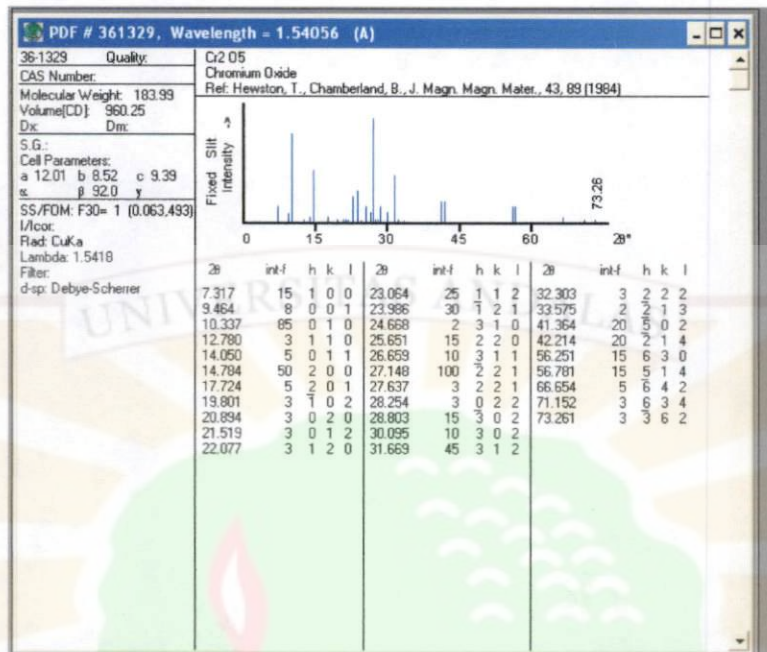
Ket: PDF nomor 33-0397

2. Nomor kartu PDF (*Powder Diffraction File*) untuk FeN nomor 03-1179



3. Nomor kartu PDF (*Powder Diffraction File*) untuk Fe₃N nomor 83-0879.



4. Nomor kartu PDF (*Powder Diffraction File*) untuk Cr_2O_5 nomor 36-1329.

LAMPIRAN C

Data Hasil Pengujian Korosi

Tabel C.1 Contoh parameter *scan* untuk pengujian elektrokimia potensiostat/galvanostat model 273

No	Parameter	Nama/nilai	Satuan
1.	Teknik	Tahanan polarisasi	-
2.	Nama sampel	"Nitridasi"	-
3.	Awal	-20	(mV)
4.	Akhir	20	(mV)
5.	Laju <i>scan</i>	0,1	(mV)

Tabel C.2 Parameter sampel untuk pengujian elektrokimia

No	Variabel	Nilai	Satuan
1.	Area kontak (A)	1	cm ²
2.	Berat ekuivalen (Ew)	25,50	g/ekiv
3.	Densitas (ρ)	7,98	(g/cm ³)

Contoh : perhitungan laju korosi untuk sampel yang tidak dinitridasi

Laju korosi/laju penetrasi CR (mpy):

$$CR = 0,128 I_{\text{corr}} Ew / Ad$$

$$= 0,128 \text{ mpy g}/\mu\text{A} (0,33 \mu\text{A}/\text{cm}^2) 25,50 \text{ g/ekiv} / 1 \text{ cm}^2 \times 7,98 \text{ g}/\text{cm}^3$$

$$= 0,282 \text{ mpy}$$

Tabel C.3 Hasil uji korosi sampel sebelum dan setelah dinitridasi pada temperatur 400, 420, 440, 460 °C selama 3 jam.

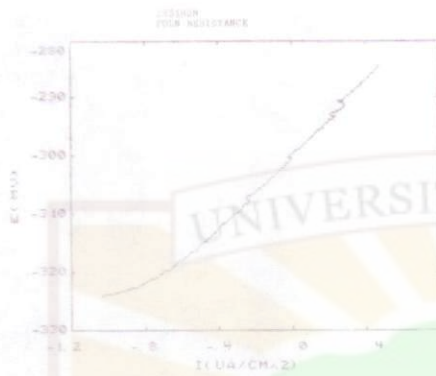
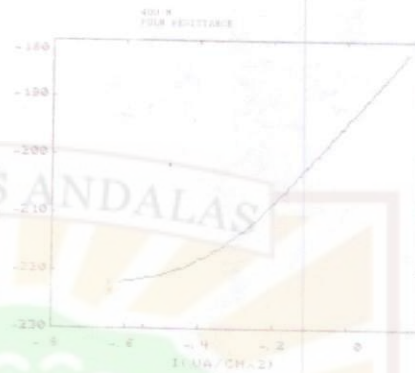
No	Temperatur nitridasi (°C)	Awal (mV)	Akhir (mV)	E(I=0) (mV)	Rp (kΩ cm ²)	Icorr* (μA/cm ²)	CR
1.	380	-20	20	-26,06	54,61	0,4	0,1651
2.	400	-20	20	-194,41	71,12	0,31	0,1268
3.	420	-30	30	-190,87	50,04	0,31	0,1784
4.	440	-20	20	-238,15	40,4	0,54	0,2233
5.	460	-20	20	-174,9	40,18	0,54	0,2245
6.	<i>As received</i>	-20	20	-299,91	31,99	0,68	0,2820

Tabel C.4 Hasil korosi sampel yang dinitridasi selama 3 jam pada temperatur 400°C dengan urea 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 gram.

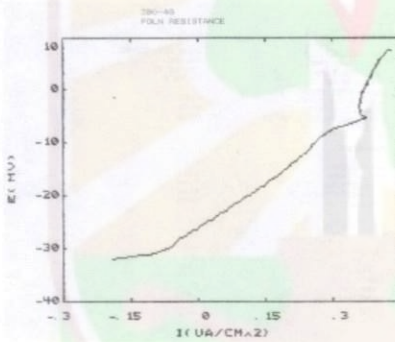
No	Massa urea (gram)	Awal (m)	Akhir (mV)	E(I=0) (mV)	Rp (kΩ cm ²)	Icorr* (μA/cm ²)	CR (mpy)
1.	2	-20	20	-59,72	85,97	0,25	0,1049
3.	4	-30	20	-245,65	4,8975	4,43	0,1268
2.	6	-20	20	-190,22	47,71	0,46	0,1890
3.	8	-20	20	-134,73	80,69	0,27	0,1118
4.	10	-20	20	-79	122,12	0,18	0,0739
5.	12	-20	20	-91,98	101,33	0,21	0,0890

*Icorr : Arus korosi

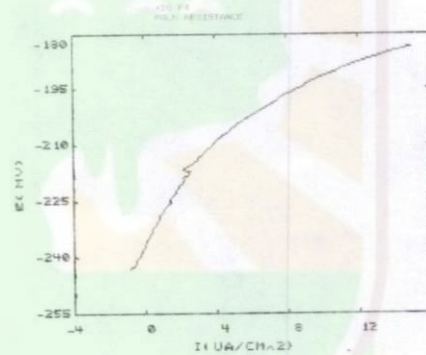
LAMPIRAN D

Grafik Tahanan Polarisasi (*polarization resistance*)Sebelum nitridasi (*as received*)

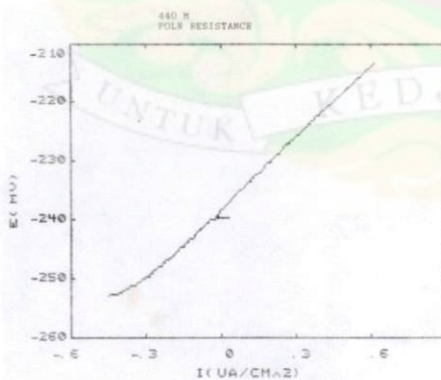
Nitridasi 400 °C, urea 4 gram



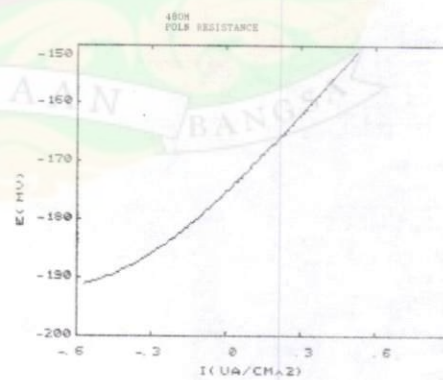
Nitridasi 380 °C, urea 4 gram



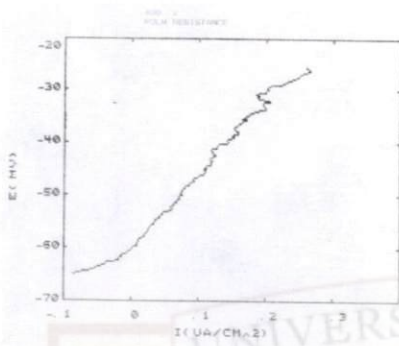
Nitridasi 420 °C, urea 4 gram



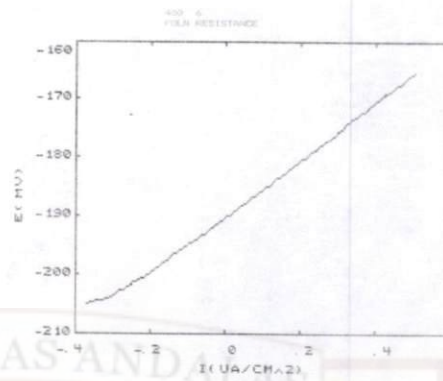
Nitridasi 440 °C, urea 4 gram



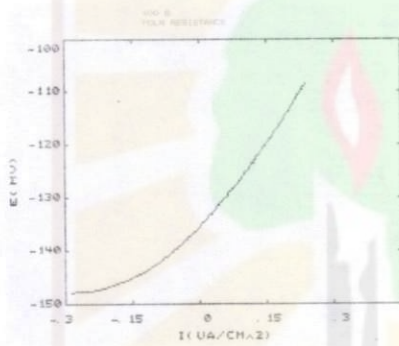
Nitridasi 460 °C, urea 4 gram



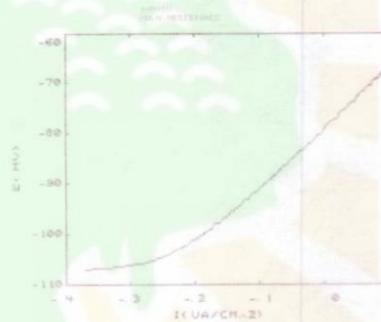
Nitridasi 400 °C, urea 2 gram



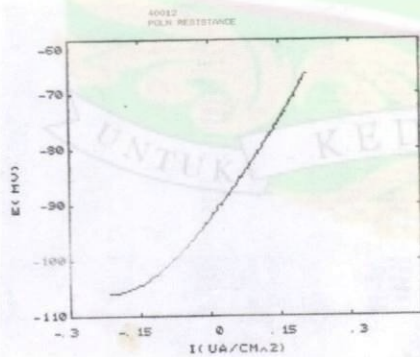
Nitridasi 400 °C, urea 6 gram



Nitridasi 400 °C, urea 8 gram



Nitridasi 400 °C, urea 10 gram



Nitridasi 400 °C, urea 12 gram

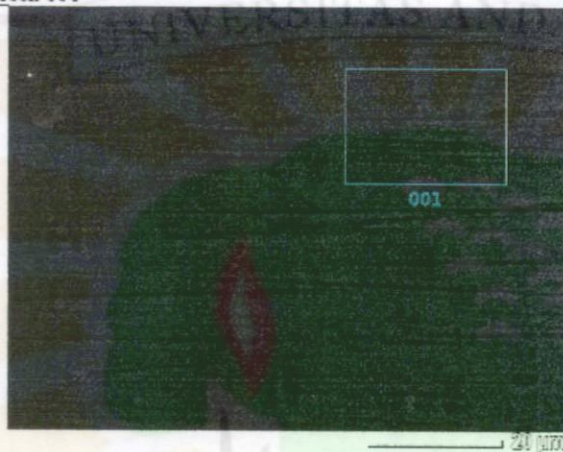
LAMPIRAN E

Hasil pengujian struktur mikro dengan SEM-EDS

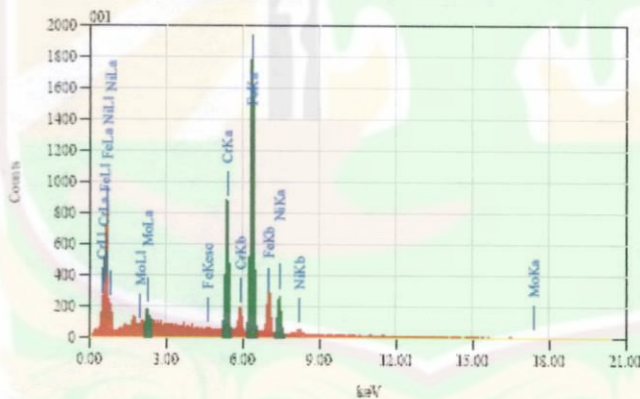
Contoh : material dasar (*base metal*) tidak dinitridasi (*as received*).

SS fresh 001

1/1



Title	: 001
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Magn.	: x 1,500
Date	: 2010/04/20
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: 74
Real Time	: 44.90 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 33 %
Counting Rate	: 4078 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

EDS Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1959

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Cr	5.411	18.84	0.15	20.27				21.0182
Fe	6.399	66.63	0.27	46.74				65.9936
Ni	7.471	12.23	0.36	11.65				11.2819
Mo	2.293	2.31	0.21	1.35				1.7063
Total		100.00		100.00				

LAMPIRAN F

Foto-foto *stainless steel* 316L sebagai implan dalam penyembuhan patah tulang.

