



UNIVERSITAS INDONESIA

PADUAN Mg_3CoNi_2 SEBAGAI PENYERAP HIDROGEN

DISERTASI

**Diajukan untuk sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Doktor**

**ANDON INSANI
8404000017**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
JULI 2009**

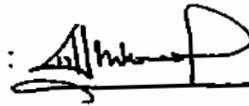
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Disertasi ini adalah karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Andon Insani

NPM : 8404000017

Tanda Tangan :




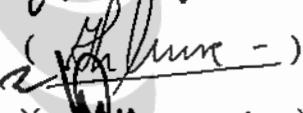

Tanggal : 17 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :
Nama : Andon Insani
NPM : 8404000017
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Disertasi : Paduan Mg_3CoNi_2 Sebagai Penyerap Hidrogen

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof. Dr. Ir. Eddy S. Siradj, M.Eng. ()
Kopromotor : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi S, D.E.A ()
: Dr. Hadi Suwarno, M.Eng. ()
Tim Penguji : Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno (Ketua)()
: Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc (Anggota)()
: Dr. Azwar Manaf, M.Met (Anggota)()
: Prof. Ir. Jamasri, Ph.D (Anggota)()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah rabbi 'alamiin, segala Puji saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor Jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan, penelitian sampai penyusunan disertasi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan disertasi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Prof. Dr. Ir. Eddy S. Siradj, M.Eng., selaku promotor yang telah menyediakan waktu, pikiran dan tenaga untuk mengarahkan saya dalam penyusunan disertasi ini;
- (2) Bapak Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi S, DEA, selaku ko-promotor yang telah menyediakan waktu, pikiran dan tenaga untuk berdiskusi dengan saya dalam penyusunan disertasi ini;
- (3) Bapak Dr. Hadi Suwarno, M.Eng., selaku ko-promotor yang telah menyediakan waktu, pikiran dan tenaga dalam usaha untuk memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Bapak Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang selalu memberikan semangat;
- (5) Bapak Prof. Dr. Ing. Bambang Suharno selaku Ketua Departemen Teknik Metalurgi dan Material;
- (6) KNRT, selaku sponsor yang telah memberikan beasiswa dalam program doktor;
- (7) Seluruh Staf Pengajar Departemen Teknik Metalurgi dan Material FT UI yang telah ikut serta memberikan masukan dan dukungan;
- (8) Seluruh Karyawan Teknik Metalurgi dan Material FT UI yang telah membantu;
- (9) Dr. Abarrul Ikram selaku kepala BS P3IB-BATAN yang telah memberikan ijin dan mendorong saya untuk mengikuti program doktor

- (10) PT Batan Teknologi yang telah memberikan ijin penggunaan peralatan untuk pengambilan data
- (11) Dr. Ridwan selaku kepala BZM P3IB-BATAN yang telah mengizinkan pemakaian alat-alat penelitian dan memberikan saran-saran
- (12) Rekan-rekan BSN dan BKAN PTBIN-BATAN yang selalu bersedia memberikan bantuan dalam penelitian
- (13) Ibunda Juwariyah, Ayahanda Nuh, Ibunda Mertua Fatimah Nasution, Ayanda Mertua Bahrum Daulay, Suami tercinta Hotmatua Daulay dan ananda Fatah yang telah memberikan dukungan dan do'a demi kemudahan dalam penyelesaian disertasi ini
- (14) Rekan-rekan seangkatan tahun 2004 atas kerjasamanya

Akhir kata, saya mengucapkan jazakumullah khoiron katsiron, semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga disertasi ini memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 17 Juli 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andon Insani
NPM : 8404000017
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Disertasi

demi pembangunan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Paduan Mg_3CoNi_2 Sebagai Penyerap Hidrogen

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 17 Juli 2009

Yang menyatakan



(Andon Insani)

ABSTRAK

Nama : Andon Insani
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Paduan Mg_3CoNi_2 Sebagai Penyerap Hidrogen

Desertasi ini membahas tentang karakteristik Paduan Mg_3CoNi_2 Sebagai Penyerap Hidrogen. Paduan dibuat dengan metode pemaduan mekanik. Untuk mendapatkan sampel yang optimal telah dilakukan variasi pembuatan sampel dengan mengombinasikan rasio berat bola terhadap sampel 1:1 dan 8:1 dengan waktu *milling* selama 10 menit, 5, 10, 15, 20, 30, 40 dan 60 jam. Peralatan *milling* adalah konvensional *milling* dan High Energy Milling SPEX 8000. Dari pengukuran XRD diketahui bahwa semua sampel mengalami oksidasi dengan bertambahnya waktu *milling* yaitu terbentuknya fasa MgO yang semakin banyak. Untuk mengurangi oksidasi dilakukan teknik pemaduan basah dengan cara menambahkan toluen ke dalam sampel yang akan *dimilling*. Dari pengukuran XRD diketahui bahwa fasa yang terbentuk sebagian besar adalah Mg_2Ni dan sedikit $MgNi_2$ sedangkan fasa Mg_2Co dan $MgCo_2$ tidak terbentuk. Hal ini karena energi pembentukan Mg_2Co dan $MgCo_2$ lebih besar dari pada pembentukan Mg_2Ni dan $MgNi_2$. Fasa Mg_2Ni yang terbentuk mengalami penurunan parameter kisi dari 5,22 nm menjadi 4,59 nm dan dari 13,29 nm menjadi 11,72 nm. Dari hasil pengamatan dengan SEM juga menunjukkan pengurangan ukuran partikel dan dari pengamatan dengan SANS menunjukkan penambahan luas permukaan. Kapasitas penyerapan hidrogen terbanyak diperoleh pada sampel yang *dimilling* selama 40 jam pada temperatur 200°C, yaitu sebesar 3,3 % berat. Keberadaan hidrogen di dalam sampel ditunjukkan dengan terjadinya perubahan ukuran kristal pada sudut 40,95° dan pada sudut 47,7°. Keberadaan hidrogen dalam sampel juga dibuktikan dengan turunnya intensitas hamburan neutron pada pengamatan dengan menggunakan SANS.

Kata kunci: pemaduan mekanik basah, penyerap hidrogen

ABSTRACT

Name : Andon Insani
Program of Study : Material and Metallurgical Engineering
Title : Mg_3CoNi_2 alloy as a Hydrogen Storage

This dissertation is discussing about the characteristics of Mg_3CoNi_2 alloy as a hydrogen storage. The alloy is made by mechanical alloying method. To obtain the optimal sample, a variation making of sample has been done by combining the ball to the sample weight ratio of 1:1 and 8:1 with the milling time of 10 s, 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 60 hours. The milling apparatus used is a conventional milling and a High Energy Milling SPEX 8000. From the XRD measurement results it is known that all obtained by dry preparation method sample are oxidized into MgO phase, especially for longer milling time. To reduce the oxidation effects a wet alloying method has been done by adding toluene to the sample to be milled. From the XRD measurement results it is known that the phases formed are mostly Mg_2Ni and small amount of $MgNi_2$, while the phases of Mg_2Co and $MgCo_2$ are not formed. This is because the energy of Mg_2Co and $MgCo_2$ formations are bigger than those for Mg_2Ni and $MgNi_2$ formation. The lattice parameters of Mg_2Ni formed decrease from 5,22 nm to 4,59 nm and from 13,29 nm to 11,72 nm. From the observation results using SEM the decrease of particle size is also shown and from SANS investigations it is shown that surface area increased with increasing milling time. The highest hydrogen absorption capacity was obtained from 40 hours milled sample at hydriding temperature of 200°C. The presence of hydrogen in the sample is indicated the change of the crystallite size calculated the angle of 40,95° and 47,7°. The presence of hydrogen in the sample is also proven with the decrease of neutron scattering intensity analyzed using SANS.

Keywords: wet mechanical alloying, hydrogen storage

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR SINGKATAN.....	xviii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah.....	7
1.6 Hipotesa.....	7
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Hidrogen Sebagai Energi.....	8
2.2 Metode Penyimpanan Hidrogen dalam Hidrida Logam: Mekanisme Pembentukan Hidrida.....	11

2.3 Termodinamika Penyerapan Hidrogen pada Logam.....	15
2.4 Metode Pembuatan Paduan.....	16
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Bahan dan Alat.....	17
3.2 Diagram Alir Penelitian	18
3.1.1 Alir Pembuatan Paduan dengan Metode Pemaduan Mekanik Kering.....	18
3.1.2 Alir Pembuatan Paduan dengan Metode Pemaduan Mekanik Basah.....	20
3.2.3 Alir Persiapan Pengujian Performance Penyerapan Hidrogen.....	21
3.2.4 Alir Pengujian Performance Penyerapan Hidrogen.....	21
3.3 Metodologi Pembuatan Paduan.....	23
3.4 Metodologi Karakterisasi.....	24
3.4.1 Analisa Struktur Kristal.....	24
3.4.2 Analisa Morfologi SEM.....	25
3.4.3 Analisa SANS.....	25
3.4.4 Analisa Termal DTA.....	28
3.5 Metodologi Pengujian Penyerapan Hidrogen.....	30
4. HASIL PEMBUATAN PADUAN.....	32
4.1 Pemaduan Mekanik Kering.....	32
4.1.1 Konvensional Milling.....	33
4.1.2 High Energy Milling.....	40
4.1.1.1 Rasio Bola Terhadap Sampel 1:1.....	40

4.1.1.2 Rasio berat bola terhadap sampel 8:1.....	51
4.2 Pemaduan Mekanik Basah	58
4.3 Pembahasan.....	65
5. HASIL UJI KAPASITAS HIDROGEN.....	67
5.1 Pengaruh waktu <i>milling</i> terhadap kapasitas penyerapan hidrogen.....	67
5.2. Pengaruh siklus terhadap kapasitas penyerapan hidrogen.....	76
5.3 Perubahan struktur mikro setelah hidriding	78
6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
6.1 Kesimpulan.....	85
6.2 Saran.....	86
DAFTAR ACUAN.....	87
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Volume 4 kg hidrogen dalam berbagai cara penyimpanan.....	3
Gambar 2.1	Skema Reaksi antara Gas H ₂ dengan Bahan Penyerap.....	12
Gambar 2.2	Energi Potensial dari Hidrogen yang Sedang Mendekati Permukaan Logam.....	13
Gambar 2.3	Posisi Atom H Secara Oktahedral dan Tetrahedral pada Logam.....	14
Gambar 2.4	Skema Diagram PCT dan Plot Van't Hoff.....	14
Gambar 3.1	Diagram alir pembuatan paduan Mg ₃ CoNi ₂ dengan metode pemaduan kering.....	19
Gambar 3.2	Diagram alir pembuatan paduan Mg ₃ CoNi ₂ dengan metode pemaduan basah.....	20
Gambar 3.3	Diagram alir persiapan sampel untuk pengukuran kemampuan penyerapan hydrogen.....	21
Gambar 3.4	Diagram alir pengukuran kemampuan penyerapan hydrogen...	22
Gambar 3.5	Proses tumbukan bola-bola dalam media <i>milling</i>	23
Gambar 3.6	<i>mechanical alloying</i> menurut referensi Benyamin dan Volin.....	24
Gambar 3.7	Skema alat SANS.....	26
Gambar 3.8	Tipe pola hamburan SANS dan interpretasi data.....	28
Gambar 3.9	Skema alat DTA.....	29
Gambar 3.10	Skema peralatan hidrogenasi-dehidrogenasi.....	30
Gambar 4.1	Pola difraksi sinar-X paduan Mg ₃ CoNi ₂ pada rasio B/S=8 (konvensional <i>milling</i>).....	33
Gambar 4.2	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg ₃ CoNi ₂ yang <i>dimilling</i> selama 20 jam dengan <i>milling</i> konvensional.....	34
Gambar 4.3	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg ₃ CoNi ₂ yang <i>dimilling</i> selama 40 jam dengan <i>milling</i> konvensional.....	35

Gambar 4.4	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 60 jam dengan <i>milling</i> konvensional.....	36
Gambar 4.5	Perubahan ukuran kristal terhadap waktu <i>milling</i> pada rasio B/S=8 (konvensional <i>milling</i>).....	37
Gambar 4.6	Perubahan bentuk dan ukuran paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (konvensional <i>milling</i>).....	38
Gambar 4.7	Hasil pengukuran DTA pada pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 (konvensional <i>milling</i>).....	39
Gambar 4.8	Pola difraksi paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S= 1.....	40
Gambar 4.9	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 10 menit.....	41
Gambar 4.10	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 5 jam.....	41
Gambar 4.11	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 10 jam.....	42
Gambar 4.12	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 15 jam.....	43
Gambar 4.13	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20 jam.....	44
Gambar 4.14	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 40 jam.....	44
Gambar 4.15	Perubahan Fraksi Volume Terhadap Waktu <i>Milling</i>	45
Gambar 4.16	Perubahan Parameter Kisi Mg, Co dan Ni Terhadap Waktu <i>Milling</i>	46
Gambar 4.17	Perubahan Ukuran Kristal Masing-masing Unsur Terhadap Waktu <i>Milling</i>	47
Gambar 4.18	Perubahan bentuk dan ukuran partikel paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 5(a), 10(b), 15(c) dan 20 jam (d).....	49
Gambar 4.19	Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 dengan rasio B/S=1.....	50
Gambar 4.20	Hasil pengukuran DTA pada paduan Mg_3CoNi_2	51

Gambar 4.21	Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM).....	52
Gambar 4.22	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 10 jam pada rasio B/S=8 (HEM).....	52
Gambar 4.23	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20 jam pada rasio B/S=8 (HEM).....	53
Gambar 4.24	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 40 jam pada rasio B/S=8 (HEM).....	54
Gambar 4.25	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 60 jam pada rasio B/S=8 (HEM).....	55
Gambar 4.26	Perubahan ukuran partikel setelah <i>milling</i> paduan Mg_3CoNi_2 pada Rasio B/S=8 (HEM).....	56
Gambar 4.27	Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM).....	57
Gambar 4.28	Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah menggunakan HEM	58
Gambar 4.29	Pola difraksi sinar-X paduan Mg_2Ni dan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20 jam	59
Gambar 4.30	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, <i>milling</i> 20 jam.....	60
Gambar 4.31	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, <i>milling</i> 30 jam.....	61
Gambar 4.32	Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, <i>milling</i> 40 jam.....	61
Gambar 4.33a	Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> 20 jam.....	62
Gambar 4.33b	Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> 30 jam.....	62
Gambar 4.33c	Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> 40 jam.....	63
Gambar 4.34	Perubahan bentuk dan ukuran partikel paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah pada berbagai waktu <i>milling</i>	64

Gambar 4.35	Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 pada pemaduan mekanik basah.....	64
Gambar 5.1	Penyerapan hidrogen pada paduan Mg_3CoNi_2 pada temperatur 200°C (a), 250°C (b) dan 300°C (c) selama 300 detik.....	68
Gambar 5.2	Perbandingan kapasitas penyerapan hidrogen pada paduan Magnesium.....	69
Gambar 5.3	Perbandingan waktu penyerapan hidrogen pada paduan Magnesium.....	70
Gambar 5.4	Pengaruh waktu <i>milling</i> terhadap waktu penyerapan hidrogen pada temperatur (a) 200°C, (b) 250°C dan (c) 300°C selama 300 detik.....	72
Gambar 5.5	Pengaruh temperatur terhadap penyerapan hidrogen paduan Mg_3CoNi_2 pada <i>milling</i> selama (a) 20 jam, (b) 30 jam dan (c) 40 jam	74
Gambar 5.6	Plot $\ln P$ vs $1/T$ dari penyerapan hidrogen paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20, 30 dan 40 jam.....	75
Gambar 5.7	Pengaruh siklus terhadap kapasitas dan kecepatan penyerapan pada Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama (a) 20 jam, (b) 30 jam dan (c) 40 jam	77
Gambar 5.8	Perubahan (a) pola difraksi dan (b) ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20 jam sesudah hidring.....	78
Gambar 5.9a	Perubahan pola difraksi paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 30 jam sesudah hidring.....	79
Gambar 5.9b	Perubahan ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 30 jam sesudah hidring.....	80
Gambar 5.10	Perubahan (a) pola difraksi dan (b) ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 40 jam sesudah hidring.....	81
Gambar 5.11	Profil SANS sebelum dan sesudah hidriding paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> pada 20 jam (a) dan 30 jam (b).....	82
Gambar 5.12	Perubahan luas permukaan sebelum dan sesudah hidriding paduan Mg_3CoNi_2 yang <i>dimilling</i> selama 20 jam (a) dan 30 jam (b).....	84

TABEL

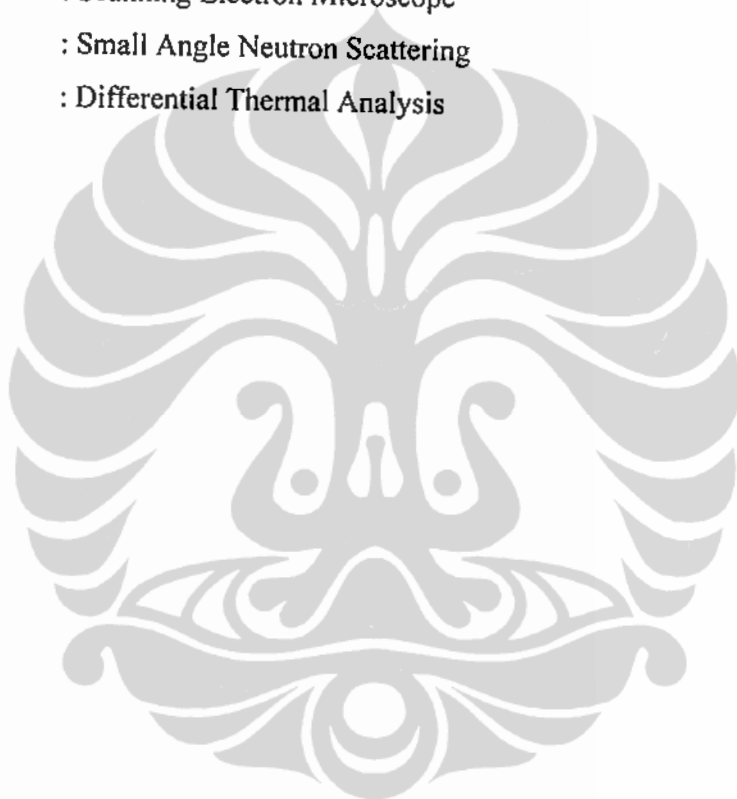
Tabel 1.1	Kapasitas hidrogen pada berbagai metode penyimpanan.....	2
Tabel 1.2	Hasil penelitian paduan magnesium sebagai penyerap hydrogen..	5
Tabel 2.1	Perbandingan sifat-sifat bahan bakar hydrogen, metan dan bensin.....	9
Tabel 4.1	Data kualitas <i>refinement</i> pola difraksi sinar-X dari Mg_3CoNi_2 pada konvensional <i>milling</i> (rasio 8:1).....	37
Tabel 4.2	Data kualitas <i>refinement</i> pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 pada Rasio berat bola terhadap sampel 1:1 (HEM).....	45
Tabel 4.3	Data kualitas <i>refinement</i> pola difraksi sinar-X dari Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM).....	55
Tabel 4.4	Ukuran partikel hasil pengamatan SEM dengan berbagai waktu <i>milling</i>	56
Tabel 4.5	Parameter kisi dari beberapa sampel yang diperoleh dari perhitungan data XRD.....	60
Tabel 5.1	Jumlah hidrogen yang diserap selama 300 detik pada temperatur 200°C, 250°C dan 300°C dalam wt %.....	69
Tabel 5.2	Perbandingan kapasitas penyerapan hidrogen dari beberapa peneliti.....	71
Tabel 5.3	Hasil perhitungan perubahan entalpi dan entropi.....	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema Produksi Hidrogen	93
Lampiran 2	Foto Alat Penelitian	95
Lampiran 3	Data JCPDS	98
Lampiran 4	Data kristalografi berbagai fasa.....	106
Lampiran 5	Perhitungan gradien pada pengamatan dengan SANS.....	108
Lampiran 6	Chart hidriding	115
Lampiran 7	Perhitungan penyerapan hidrogen.....	140
Lampiran 8	Biodata.....	173

DAFTAR SINGKATAN

MA	: Mechanical Alloying
XRD	: X-Ray Diffractometer
SEM	: Scanning Electron Microscope
SANS	: Small Angle Neutron Scattering
DTA	: Differential Thermal Analysis



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi yang pesat pada abad 20 dan ditambah dengan pertambahan penduduk yang tinggi seiring dengan konsumsi energi dunia yang semakin besar. Konsumsi energi dunia bertambah dari tahun 1860 sebesar 5×10^{12} kWh/tahun menjadi $1,4 \times 10^{14}$ kWh/tahun pada tahun 2003. Energi tersebut sebagian besar yaitu 80 %-nya berasal dari bahan bakar berbasis fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara. Sementara itu pertambahan populasi penduduk pada abad 20 ini 10^6 kali tetapi pertambahan konsumsi energi sebanyak 10^{80} kali, sedangkan sumber energi tersebut dalam waktu dekat akan mengalami krisis. Selain sumber energi terbatas, konsumsi energi berbasis fosil memberikan efek negatif yaitu bertambahnya karbondioksida di atmosfer, diperkirakan sebesar 3×10^{12} /tahun. Karbondioksida merupakan salah satu penyebab naiknya temperatur bumi[1]. Oleh karena itu dunia harus mencari alternatif sumber energi baru yang lebih aman. Indonesia yang tidak lepas dari kondisi global di atas juga memiliki permasalahan yang sama. Cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam kurun waktu 10-15 tahun mendatang[2].

Penemuan teknologi *fuel cell* (sel tunam) merupakan salah satu pemecahan masalah energi dewasa ini. *Fuel cell* adalah perangkat elektrokimia yang mengkonversi bahan bakar langsung menjadi energi listrik secara berkesinambungan selama masih ada pasokan bahan bakar. Jenis-jenis *fuel cell* yang telah dikembangkan diantaranya PAFC (*Phosphoric Acid Fuel Cell*), AFC (*Alkaline Fuel Cell*), MCFC (*Molten Carbonate Fuel Cell*), SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*), PEFC (*Polymer Electrolyte Fuel Cell*) dan DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*). Bahan bakar yang dapat digunakan pada teknologi *fuel cell* adalah hidrogen, metanol, gas alam dan bahan bakar cair. Kecuali gas hidrogen, bahan bakar lain harus melalui serangkaian proses perubahan (*reforming*) terlebih dahulu untuk bisa digunakan [3].

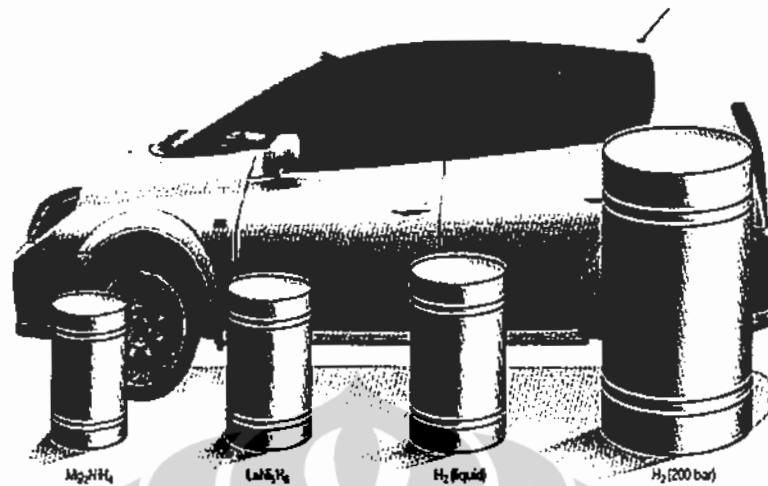
Hidrogen sebagai energi memiliki banyak kelebihan, diantaranya adalah ringan, tersedia melimpah di alam, ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Tetapi karena sifat hidrogen yang reaktif, mudah terbakar dan meledak maka masalah penyimpanannya menjadi persoalan tersendiri. Beberapa alternatif penyimpanan yang sudah dilakukan diantaranya adalah dengan mengompres di dalam tabung, (*compressed hydrogen gas / CHG*), hidrida logam (*metal hydride*), hidrogen cair dalam tangki, karbon penyerap hidrogen, dan di dalam ammonia[1]. Perbandingan kapasitas penyimpanan dari berbagai metode ditunjukkan Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kapasitas hidrogen pada berbagai metode penyimpanan [4]

Storage methode	Hydrogen capacity	Energy capacity	Possible application areas
Gaseous H ₂	11.3 wt%	5.0 kW/kg	TR, CHP
Liquid H ₂	25.9 wt%	13.8 kW/kg	TR
Metal hydride	~2 - 5.5 wt%	0.8 - 2.3 kW/kg	PO, TR
Activated carbon	5.2 wt%	2.2 kW/kg	-
Zeolites	0.8 wt%	0.3 kW/kg	-
Glass spheres	6 wt%	2.5 kW/kg	-
Nanotubes	4.2 - 7 wt%	1.7 - 3.0 kW/kg	PO, TR
Fullerenes	~6 wt%	2.5 kW/kg	PO, TR
Chemical	8.9 - 15.1 wt%	3.8 - 7.0 kW/kg	all

TR: Transportasi. PO : portable

Cara penyimpanan berupa hidrida logam sesuai untuk transportasi karena memiliki banyak kelebihan, yaitu ringkas, padat, aman, kemurnian tinggi, kandungan oksigen rendah dan mudah dipindahkan. Walaupun begitu cara penyimpanan berupa hidrida logam ini masih menyisakan persoalan yaitu harga, berat, volume, efisiensi, ketahanan, dan waktu reaksi hidrogenasi-dehidrogenasi (*hydriding-dehydriding*). Perbandingan volume dari berbagai metode penyimpanan hidrogen ditunjukkan Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Volume 4 kg hidrogen dalam berbagai cara penyimpanan [5]

Logam magnesium merupakan kandidat yang potensial sebagai material penyerap hidrogen karena ringan, murah dan memiliki kapasitas penyerapan gas hidrogen yang cukup besar, yakni 7,6 wt%. Namun demikian logam ini memiliki kelemahan yaitu waktu penyerapan dan pelepasan hidrogen yang lambat akibat kuatnya ikatan antara magnesium dan hydrogen. Untuk melepaskan ikatan ini diperlukan temperatur yang cukup tinggi yaitu 350 °C [6]. Berbagai penelitian untuk meningkatkan kualitas penyerapan hidrogen dari bahan magnesium telah dilakukan baik dari cara pembuatan, komposisi paduan, perlakuan permukaan dan penambahan unsur lain seperti katalisator.

State of The Art Research

Mechanical grinding atau alloying (MA) adalah salah satu cara untuk menyintesa paduan Mg-Ni skala nano. Dengan ditamhkannya Ni ke dalam Mg walaupun kapasitas serapan hidrogen turun menjadi 1.6 wt % tetapi temperatur dehidriding juga turun menjadi 373 K [7]. Penambahan Co dan Cu hanya memberikan sedikit efek terhadap entalpi pembentukan paduan amorf tetapi memberikan efek cukup besar pada pembentukan paduan kristalin. Penambahan Co menaikkan temperatur kristalisasi sedangkan penambahan Cu menurunkan

temperatur kristalisasi. Selain efek di atas, penambahan Cu dan Co juga menyebabkan keberadaan hidrogen menjadi tidak stabil [8].

Penelitian tentang paduan magnesium pernah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai metode pembuatan dan berbagai unsur paduan. Tinjauan penelitian yang sudah pernah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Metode pembuatan paduan dengan MA kemudian dilanjutkan dengan anil pada temperatur kristalisasi menghasilkan paduan multi fasa yaitu fasa amorf dan fasa kristalin. Paduan multi fasa ini memberikan efek pada penumbuhan butiran dan mengurangi stres internal pada saat proses presipitasi.[9]

Beberapa unsur dicoba dipadukan dengan magnesium untuk meningkatkan performance magnesium, diantaranya unsur Fe, Co dan Ni [10]. Paduan dibuat dengan metode pemaduan mekanik reaktif (*reactive mechanical alloying*), yaitu metode pemaduan mekanik dalam atmosfer hidrogen. Hasilnya menunjukkan bahwa pada milling selama 10 jam pada paduan Mg-Co dapat terbentuk MgH₂ sebesar 5wt % pada temperatur 350°C dan tekanan 1.1Mpa. Pembuatan dengan atmosfer hidrogen ini mampu melindungi bahan dari terbentuknya oksida magnesium.

Penambahan kalsium pada paduan Mg-Ni dapat menurunkan temperatur penyerapan hidrogen, yakni pada temperatur 313K mampu menyerap hidrogen sebesar 1,4 wt % [11]

Selain metode pembuatan paduan dengan menggunakan MA, metode *hydriding combustion* dan *ball milling diffusion* juga dilakukan untuk tujuan meningkatkan *performance* paduan magnesium [12].

Penambahan Co pada paduan Mg-Ni diikuti dengan perlakuan permukaan menggunakan cairan NH₄F dapat menggantikan lapisan magnesium oksida menjadi lapisan MgF₂, dan di bawah lapisan ini terkumpul Ni sehingga dapat meningkatkan kecepatan penyerapan hidrogen ke dalam bulk [13]. Penambahan logam mulia seperti Ti pada paduan Mg-Ni juga dilakukan [14]. Hasilnya mampu menyerap hidrogen sebesar 3.0 wt % pada 250°C dan tekanan 0.015 MPa. Akan tetapi Ti merupakan logam yang mahal.

Hai-Liang Chu [15] meneliti paduan Mg₂Co dan Mg₄₅Ni₅Co₅₀ yang dibuat dengan metode MA. Kapasitas hidrogen yang dapat diserap pada temperatur 80°C

dan tekanan 3 MPa adalah 2,1 wt % dan 1,7 wt %. Pencapaian ini cukup baik, akan tetapi waktu yang diperlukan untuk penyerapan hidrogen menjadi sangat lama yaitu 75 jam.

Tabel 1.1 Hasil penelitian paduan magnesium sebagai penyerap hidrogen

No	Nama Peneliti	Bahan	Metode Pembuatan	Hasil	Keterangan
1	Shin-ichi Orimo [7]	Mg-Ni	MA	1,6 wt %, 448K	1998
2	K. Ikeda [8]	Co, Cu substitution on MgNi	-MA dari Mg ₂ Ni + Co dan Cu	RT, 1.25 wt % utk Co RT, 1.2 wt % utk Cu	1998
3	K. Yamamoto [9]	MgNi	-MA	0.005-3 Mpa, 473K, 1.45 wt %	1999
4	JLBobet [10]	Mg-M (Co, Ni, Fe)	-RMA	Mg-Co, 350°C, 1.1MPa, 5wt %	2001
5	N. Terrasita, [11]	(Mg _{1-x} Ca _x)Ni ₂	-melt	313K, 3.5MPa, 1.4 wt% (H/M~0.7)	2001
6	Liquan Li, [12]	Mg ₂ Ni	-Hydriding combustion	579-623K, 1.1MPa, 3.4-3.6 wt %	2001
7	Huabin Yang, [13]	Mg ₂ Ni _{0.75} Co _{0.25}	- BM diffusion - 0.06 M NH ₄ F	250°C, H/M = 1.18	2000
8	T. Spassov [14]	Mg _{1.9} M _{0.1} Ni (M=Ti, Zr, V)	MA	250°C, 0.015 MPa, 3,0 wt %	2003
9	Hai-Liang Chu [15]	Mg ₂ Co	MA	80°C, 3 MPa, 2,1 wt %	2006
10	Hai-Liang Chu [15]	Mg ₄₅ Ni ₅ Co ₅₀	MA	80°C, 3 MPa, 1,7 wt %	2006
11	L.Xie [16]	Mg ₂ Ni	HPMR	300°C, 4MPa, 2,6 wt%	2007
12	L.Xie [16]	Mg ₂ Ni _{0.90} Co _{0.1}	HPMR	300°C, 4MPa, 2,6 wt%	2007
13	I. Gonzalez Ferdinanz [17]	Mg ₂ Co	MA	425°C, 5,9MPa, 4,0 wt%	2008

Penambahan Co pada paduan Mg_2Ni dengan metode pembuatan paduan *hydrogen plasma-metal reaction* (HPMR) dapat menaikkan kecepatan penyerapan yang sangat besar [16].

I.Gonzalez membuat paduan Mg_2Co yang mampu menyerap hidrogen hingga kapasitas mencapai 4,0 wt % pada $425^\circ C$, 5,9 MPa. Akan tetapi proses pembuatannya dengan metode MA memerlukan waktu yang sangat lama, yaitu 200 jam [17].

Dari serangkaian penelitian di atas, penambahan Co pada Mg mampu menyerap hidrogen yang lebih besar dibanding dengan penambahan Ni pada Mg tetapi pembuatan paduan Mg-Co memerlukan energi yang lebih besar dari pada paduan Mg-Ni. Maka pada kesempatan ini akan dilakukan penelitian tentang *performance* penyerapan hidrogen paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan metode pemaduan mekanik.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Ada beberapa variabel masalah yang diperkirakan muncul dari pembuatan paduan sebagai bahan penyerap hidrogen.

1. Penelitian ini menggunakan serbuk magnesium, kobalt dan nikel. Magnesium merupakan bahan yang bersifat mudah teroksidasi, padahal lapisan oksida ini akan mempersulit proses masuknya hidrogen ke dalam paduan. Maka diperlukan metode atau penambahan media tertentu untuk menghindari oksidasi magnesium.
2. Kemampuan penyerapan hidrogen suatu bahan ditentukan oleh struktur kristal dan ukuran butir dari bahan tersebut. Oleh karena itu perlu diketahui struktur kristal yang terbentuk selama proses pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 . Sedangkan kecepatan penyerapan hidrogen dipengaruhi oleh ukuran butir maka perlu diketahui pengaruh waktu *milling* terhadap kecepatan penyerapan hidrogen paduan.
3. Paduan Mg_3CoNi_2 adalah larutan padat logam magnesium, kobalt dan nikel dengan perbandingan jumlah atom $Mg:Co:Ni = 3:1:2$. Fasa-fasa yang terbentuk dari paduan ini akan mempengaruhi penyerapan hidrogen.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu *milling* pada proses pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 dengan metode pemaduan mekanik terhadap kecepatan penyerapan hidrogen dan kemampuan penyerapan hidrogen.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada penelitian tentang bahan penyimpan hidrogen pada khususnya dalam rangka pemanfaatan hidrogen sebagai sumber energi.

1.5 BATASAN MASALAH

Masalah di dalam penelitian ini adalah:

1. Pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 menggunakan metode MA kering dan basah dari serbuk logam Mg, Co dan Ni kemurnian tinggi.
2. Pengamatan struktur kristal dilakukan dengan alat XRD untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan ukuran kristal setelah proses *milling*.
3. Pengamatan morfologi dan ukuran partikel dilakukan dengan menggunakan alat SEM untuk mengetahui bentuk serta ukuran partikel setelah proses *milling*.
4. Pengamatan SANS dilakukan untuk mengetahui perubahan luas permukaan setelah *milling* dan setelah hidriding untuk memastikan adanya hidrogen yang terserap.
5. Pengujian hidriding dilakukan untuk menguji kemampuan penyerapan hidrogen dan kecepatan penyerapannya.

1.6 HIPOTESA

Hipotesis mendasar dalam pengembangan paduan Mg-CoNi ini adalah bahwa Co dan Ni lebih banyak berfungsi sebagai katalisator dari pada sebagai penyerap hidrogen itu sendiri. Sehingga keberadaan katalisator ini dapat memperbaiki performance penyerapan hidrogen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 HIDROGEN SEBAGAI ENERGI

Hidrogen (H) adalah unsur alam yang memiliki berat atom 1 (1 proton, 1 elektron). Keberadaannya di alam memiliki 2 isotop, yaitu deuterium (D) dengan berat atom 2 (1 proton, 1 elektron dan 1 neutron) dan tritium (T) dengan berat atom 3 (1 proton, 1 elektron dan 2 neutron). Gas hidrogen (H_2) adalah senyawa yang tidak berwarna dan tidak berbau dengan titik lebur $-259,1^\circ C$, titik didih $-252,9^\circ C$ jarak antar atom H sebesar $0,74 \text{ \AA}$ dan berat jenis $0,0899 \text{ g/cm}^3$ ($0^\circ C$, 1 atm). Hidrogen bersifat mudah terbakar, mudah meledak, mudah menguap dan tidak beracun. Berat jenis hidrogen cair $0,0708 \text{ g/cm}^3$ ($-253^\circ C$). Dalam bentuk padat hidrogen membentuk struktur *hexagonal closet packing* [18]. Hidrogen memiliki sifat ambivalen terhadap unsur lain, yakni dapat menjadi anion (H^-) atau kation (H^+) dalam senyawa ionik.

Hidrogen merupakan unsur terbanyak di bumi yaitu 75%, tetapi sebagai gas hidrogen (H_2) kurang dari 1 %. Hidrogen dapat diperoleh melalui penguraian gas, cairan dan padatan dari senyawa hidrokarbon, proses termokimia, biofotolisis dan elektrolisa air (H_2O).

Oksidasi hidrogen membentuk air merupakan reaksi kimia eksotermik yang atraktif dengan keunggulan :

1. merupakan pembakaran non toksik karena tidak menghasilkan gas beracun seperti CO_x atau NO_x
2. energi yang dihasilkan sangat besar yaitu 142 MJkg^{-1} (tiga kali lebih besar dari hidrokarbon cair 47 MJkg^{-1})

Keunggulan hidrogen dibandingkan dengan metana dan minyak bumi diperlihatkan pada Tabel 2.1. Dengan keunggulan hidrogen seperti tersebut di atas, dunia mulai menggunakannya sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi. Beberapa Negara seperti Amerika, Jepang, Jerman, Australia, Singapura, Cina dan

Taiwan telah memulai pembangunan infrastruktur pengisian bahan bakar hidrogen terutama untuk transportasi. Perusahaan otomotif terkenal dunia seperti BMW, Ford, dan Toyota juga telah mulai menguji coba mobil berbahan bakar hidrogen[19].

Tabel 2.1 Perbandingan sifat-sifat bahan bakar hydrogen, metan dan bensin[20]

Properties		Hydrogen	Methane	Gasoline
		H ₂	CH ₄	(-CH ₂) _n
Lower heating	[kWh.kg ⁻¹]	33.33	13.9	12.4
Self ignition temperature	[°C]	585	540	228-501
Flame temperature	[°C]	2045	1875	2200
Ignition limits in air	[Vol%]	4-75	5.3-15	1.0-7.6
Min. Ignition energy	[mWs]	0.02	0.29	0.24
Flame propagation in air	[m.s ⁻¹]	2.65	0.4	0.4
Detonation limits	[Vol%]	13-65	6.3-13.5	1.1-3.3
Detonation velocity	[km.s ⁻¹]	1.48-2.15	1.39-1.64	1.4-1.7
Explosion energy	[kg.TNT.m ⁻³]	2.02	7.03	44.22
Diffusion coeff. in air	[cm ² .s ⁻¹]	0.61	0.16	0.05

Berbagai cara untuk memproduksi hidrogen dapat dilakukan[21]. Jenis-jenis produksi hidrogen diantaranya adalah:

a. Elektrolisa Air

Elektrolisa air adalah proses pemutusan ikatan antara H dan O dengan menggunakan larutan elektrolit yang diletakkan diantara katoda dan anoda. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah:



Dan reaksi yang terjadi pada katoda adalah



Sehingga secara keseluruhan reaksi elektrolisa air adalah sebagai berikut:



b. Produksi hidrogen dari bahan bakar fosil

Produksi hidrogen dari gas alam

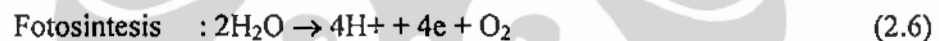


Produksi hidrogen dari batu bara

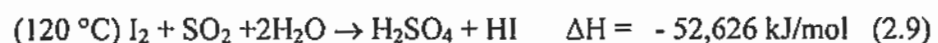
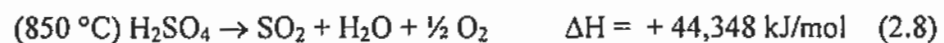


c. Biofotolisis

Biofotolisis adalah produksi hidrogen dengan menggunakan bantuan tumbuhan. Jenis tumbuhan yang dapat digunakan pada reaksi ini adalah alga dan cyanobakteria. Proses biofotolisis terdiri dua step, yaitu fotosintesis dan hidrogenasi. Secara reaksi kimia dapat dituliskan sebagai berikut:

d. *Split* air secara termokimia

Split air secara termokimia adalah konversi air menjadi gas hidrogen dan oksigen melalui reaksi kimia dan penambahan panas. Reaksi yang terjadi selama prosen reaksi ini adalah sebagai berikut:



2.2 METODE PENYIMPANAN HIDROGEN DALAM HIDRIDA LOGAM: MEKANISME PEMBENTUKAN HIDRIDA LOGAM

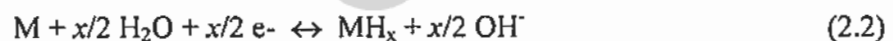
Seperti telah dibahas dalam Bab Latar belakang di atas, bahwa penyimpanan hidrogen dalam bentuk hidrida logam merupakan cara yang paling aman dan memiliki gravitasi massa yang kecil sehingga dapat dimanfaatkan secara *portable*. Oleh karena itu dalam sub bab ini hanya akan dibahas mekanisme penyimpanan hidrogen dalam bentuk hidrida logam.

Hidrogen dapat bereaksi dengan berbagai unsur membentuk hidrida. Secara umum hidrida biner dapat dikategorikan menjadi 3, yaitu ionik seperti LiH, kovalen seperti CH₄ dan AlH₃ dan hidrida logam seperti MgH₂. Secara prinsip seluruh logam transisi dapat diharapkan membentuk hidrida logam. Tetapi belum semua diobservasi karena ada yang stabil pada tekanan yang sangat tinggi.

Logam, paduan logam dan senyawa intermetalik secara umum bereaksi dengan hidrogen membentuk senyawa padat hidrida logam. Senyawa hidrida terbentuk sebagai ikatan ion, kovalen dan logam. Batas antara ikatan-ikatan tersebut tergantung elektronegativitas dari unsur-unsur pembentuknya. Ada 2 cara hidriding logam, yaitu disosiasi penyerapan kimiawi dan penguraian air secara elektrokimia. Reaksi dari kedua cara tersebut adalah sebagai berikut [20]:



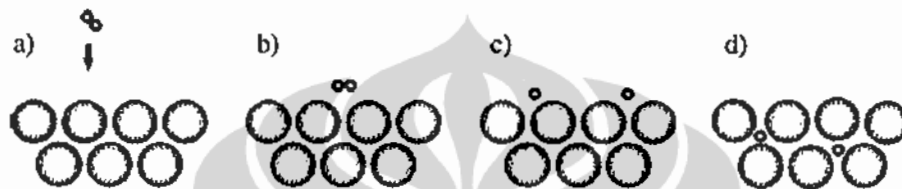
dan



dimana M adalah logam. Secara umum hidrida logam dapat dikelompokkan menjadi binari hidrida logam, intermetalik hidrida dan hidrida logam kompleks [22]. Binari hidrida logam terdiri dari hidrida ionik yaitu hidrida yang terbentuk dari unsur blok-s dengan hidrogen, hidrida logam yaitu hidrida yang terbentuk dari reaksi unsur-unsur transisi dengan hidrogen dan hidrida kovalen yaitu hidrida yang terbentuk dari unsur-unsur blok-p dengan hidrogen. Intermetalik hidrida didasarkan pada paduan intermetalik A_xB_y, dimana A adalah unsur-unsur alkali tanah dan alkali tanah jarang yang merupakan pembentuk hidrida yang kuat dan B

biasanya logam transisi yang membentuk hidrida tidak stabil. Hidrida kompleks terbentuk dari logam atau logam transisi yang berikatan dengan hidrida logam secara kovalen. $\text{Na}[\text{AlH}_4]$ adalah salah satu contoh hidrida kompleks.

Kebanyakan logam memiliki kemampuan menyerap hidrogen walaupun kelarutannya berbeda-beda [23]. Skema penyerapan hidrogen pada logam diperlihatkan pada Gambar 2.1.



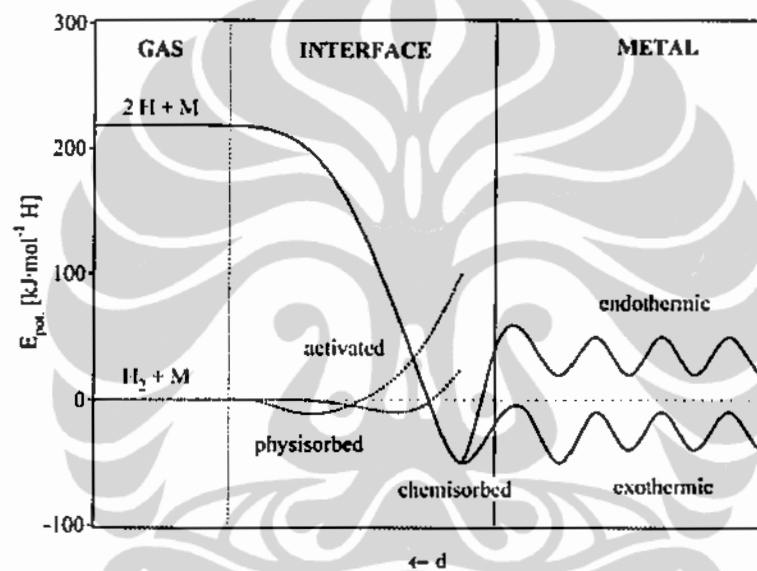
Gambar 2.1. Skema reaksi antara gas H_2 dengan bahan penyerap (*materialstorage*) [24].

- a) molekul H_2 mendekati permukaan bahan
- b) interaksi secara Van der Waals (penyerapan secara fisik)
- c) penyerapan secara kimia setelah molekul H_2 terdisosiasi
- d) atom H menempati sub permukaan dan berdifusi ke dalam bahan

Secara umum penyerapan hidrogen pada paduan magnesium merupakan reaksi permukaan yang terdiri dari penyerapan secara fisika, disosiasi dan penyerapan secara kimia, difusi ke dalam sub permukaan dan bulk serta pembentukan hidrida dengan pengintian dan pertumbuhan. Sedangkan pada pelepasan hidrogen atau desorpsi, magnesium yang sudah mengalami pengintian dan atom-atom hidrogen yang telah terdifusi di permukaan berikatan kembali dengan molekul-molekul hidrogen yang telah diserap secara fisika. Secara umum kinetika penyerapan dan pelepasan hidrogen pada paduan magnesium ditentukan pada rentetan reaksi ini. Faktor-faktor penting yang dapat meningkatkan kinetika penyerapan dan pelepasan hidrogen adalah:

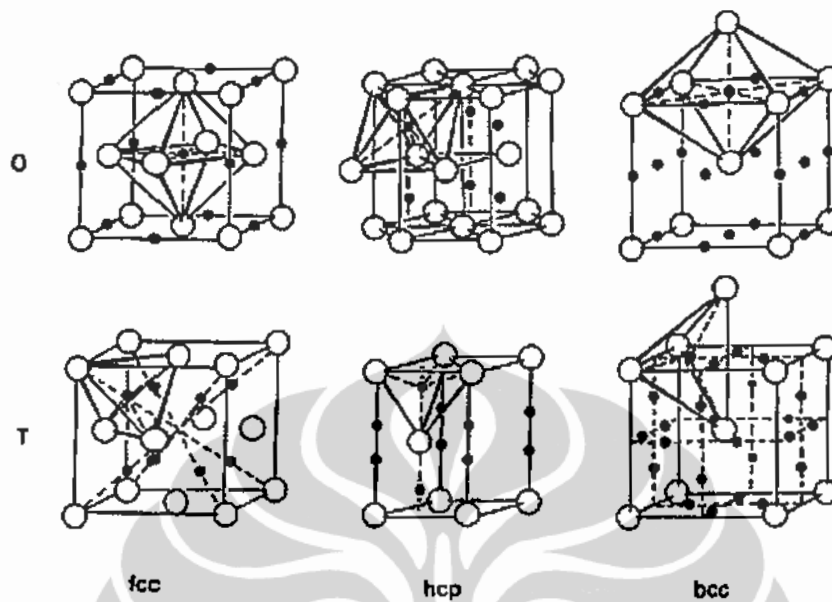
1. struktur mikro dari material seperti ukuran kristal dan ukuran butir
2. dimensi luar dari material seperti ukuran partikel
3. penambahan bahan yang cocok atau penambahan katalisator

Di dalam kontak dengan permukaan logam, hidrogen dapat diserap secara fisik oleh logam dengan gaya Van der Waals. Energi penyerapan secara fisik adalah sebesar $E_{\text{phys}} \approx 10 \text{ kJ/mol}$. Pada proses ini molekul gas hidrogen berinteraksi dengan beberapa atom permukaan bahan. Tahap berikutnya adalah interaksi antara hidrogen dan logam, dimana hidrogen harus dapat melampaui rintangan aktivasi untuk disosiasi (pemisahan molekul hidrogen menjadi ion hidrogen) dan untuk membentuk ikatan dengan logam seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Energi potensial dari hidrogen yang sedang mendekati permukaan Logam. d : jarak dari permukaan logam [25]

Proses ini disebut penyerapan secara kimia. Energi penyerapan secara kimia adalah sebesar $E_{\text{chem}} \approx 50 \text{ kJ/mol-H}$. Setelah terdisosiasi, molekul H_2 menjadi atom H pada permukaan logam, atom H berdifusi secara cepat ke dalam logam pada temperatur kamar membentuk larutan padat M-H yang merupakan fasa- α . Hidrogen menempati intersisi oktahedral atau tetrahedral dari struktur logam induk. Dalam posisi oktahedral atom H dikelilingi 6 atom logam dan posisi tetrahedral dikelilingi 4 atom seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.

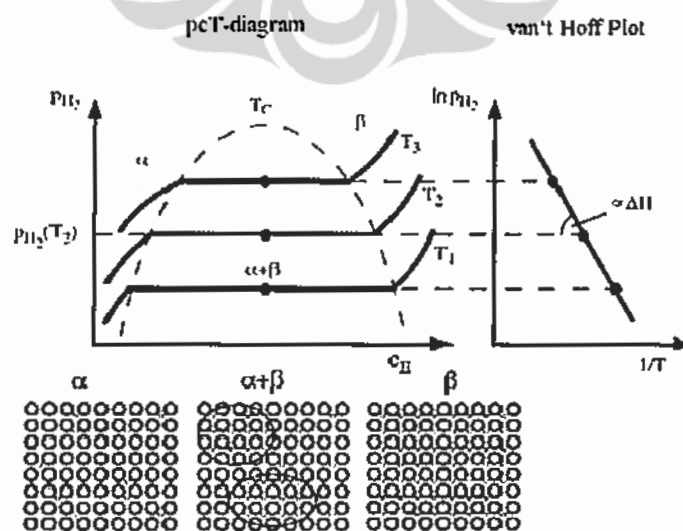


Gambar 2.3. Posisi atom H secara oktahedral dan tetrahedral pada logam tipe fcc, hcp dan bcc [24]

Konsentrasi hidrogen c_H di dalam fasa- α bergantung pada tekanan gas seperti dinyatakan dalam rumus Sievert berikut:

$$c_H = k p^{1/2}$$

dimana k bergantung pada temperatur dan p adalah tekanan hidrogen.



Gambar 2. 4. Skema diagram PCT dan plot van't Hoff [26]

2.3. TERMODINAMIKA PENYERAPAN HIDROGEN PADA LOGAM

Secara prinsip hidrogen dapat terlarut di dalam logam membentuk larutan homogen dan dalam kesetimbangan termodinamika membentuk fasa logam hidrida MH_x , yang secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{1}{2}\mu_{H_2}(p,T) = \mu_H(p,T,x) \quad (2.3)$$

dimana μ_{H_2} adalah potensial kimia dari molekul hidrogen dan μ_H adalah potensial kimia atom hidrogen yang terlarut di dalam logam. Dengan penurunan persamaan (2.3) di atas pada $x = [H]/[M]$ dan $1/T$ tetap didapatkan :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial(\mu_{H_2}/T)}{\partial(1/T)} \Big|_p + \frac{1}{2} \frac{\partial(\mu_{H_2}/T)}{\partial p} \Big|_T \frac{\partial p}{\partial(1/T)} \Big|_x \\ = \frac{\partial(\mu_H/T)}{\partial(1/T)} \Big|_{p,x} + \frac{\partial(\mu_H/T)}{\partial p} \Big|_T \frac{\partial p}{\partial(1/T)} \Big|_x \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dengan menggunakan rumus umum

$$\frac{\partial \mu}{\partial p} \Big|_{n,T} = \frac{\partial^2 G}{\partial p \partial n} \Big|_T = \frac{\partial V}{\partial n} \Big|_{p,T} \equiv \nabla \quad (2.5)$$

dan

$$\frac{\partial(\mu/T)}{\partial(1/T)} \Big|_{p,n} = \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{p,T} \equiv H \quad (2.6)$$

maka persamaan (2.4) dapat disederhanakan menjadi:

$$H_H - \frac{1}{2}H_{H_2} = \left(V_H - \frac{1}{2}V_{H_2} \right) \frac{\partial p}{\partial \ln T} \Big|_x \quad (2.7)$$

dimana G adalah energi bebas Gibbs dari total sistem, n adalah jumlah mol, H adalah entalpi dan V adalah volume molar parsial. $\Delta H \equiv H_H - \frac{1}{2}H_{H_2}$ adalah panas larutan hidrogen di dalam logam per gram atom hidrogen.

Pada tekanan rendah ($p < 100$ bar) volume molar parsial gas hidrogen sangat besar dibandingkan V_H dan H_2 memiliki sifat gas ideal, $pV_{H_2} \equiv RT$, sehingga persamaan (3.5) dapat disederhanakan menjadi:

$$H_H - \frac{1}{2}H_{H_2}^0 \equiv \frac{R}{2} \frac{\partial \ln p}{\partial(1/T)} \Big|_x \quad (2.8)$$

2.4 METODE PEMBUATAN PADUAN

Seperti telah disebutkan di atas bahwa magnesium memiliki kapasitas penyerapan sebesar 7,6 % berat, tetapi kinetika penyerapan dan pelepasannya sangat lambat dan memerlukan temperatur yang tinggi karena kuatnya ikatan Mg-H. Oleh karena itu untuk meningkatkan kualitas penyerapan hidrogen dari bahan magnesium telah dilakukan berbagai penelitian dari cara pembuatan sampel. Pembuatan paduan yang biasa dilakukan adalah dengan cara melebur. Cara ini memiliki kelemahan jika magnesium dipadukan dengan unsur lain yang memiliki titik lebur tinggi seperti Ni yang titik leburnya 1450°C sedangkan magnesium menguap pada temperature 1090°C¹[18]. Cara lain yang telah dilakukan adalah:

- a. peleburan secara induksi (*induction melting*) [27]
- b. pembekuan cepat (*melt spinning*) [28]
- c. sintesa pembakaran (*combustion synthesis*) [29]
- d. pemaduan mekanik (*mechanical alloying*) [30]
- e. metode difusi [31]
- f. *equal channel angular pressing* [32] adalah metode pembuatan paduan untuk mendapatkan butir berukuran submikron, yakni antara 200-500 nm (*ultra fine grain*).
- g. pembuatan paduan dari partikel *ultra fine* [33]
- h. *Isothermal evaporation Casting Process* [34], adalah salah satu metode untuk mendapatkan paduan Mg₂Ni dengan kemurnian tinggi
- i. Reaktif grinding [35] yaitu grinding dalam lingkungan hidrogen.

Pembuatan dengan cara *arc-melting* menghasilkan paduan polikristal, MA menghasilkan senyawa amorf, sedangkan apabila hasil MA kemudian dianil maka akan menghasilkan kristal berukuran nano [36]. Diantara cara pembuatan paduan tersebut di atas, pemaduan mekanik paling banyak dilakukan karena dapat menghasilkan paduan nanomaterial sehingga memiliki mekanika penyerapan yang lebih baik. Alat yang digunakan pada pemaduan mekanik juga memberikan pengaruh yang berbeda; menggunakan *Fritz ball milling* diperoleh kualitas sampel yang mampu menyerap hidrogen lebih banyak dari pada dengan *Spex ball mill* [37].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 BAHAN DAN ALAT

Bahan-bahan dasar yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah serbuk magnesium yang diproduksi oleh Aremco dengan kemurnian 99,8 % dan ukuran partikel -270 mesh, serbuk nikel produksi Merk, kemurnian 99,5 %, ukuran partikel < 10 μm dan serbuk kobalt produksi MHO dengan kemurnian 99,88 %, ukuran partikel -400 mesh yang ditimbang dengan perbandingan stoikiometri sehingga membentuk formula Mg_3CoNi_2 . Untuk pemaduan mekanik basah, setelah ditimbang ditambahkan toluene produksi Merk dengan kemurnian 99,9 % untuk menghindari oksidasi magnesium ketika *dimilling*. Selain itu untuk menghindari oksigen ketika proses penimbangan dilakukan di dalam *glove box* yang berisi gas Argon dengan kemurnian 99,99 %.

Sedangkan alat yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat timbang untuk menimbang sampel sebelum *dimilling*, *vial* sebagai wadah ketika *milling* yang terbuat dari *stainless steel* dengan diameter 5,1 cm dan tinggi 7,6 cm, bola padat terbuat dari *stainless steel* berdiameter 11 mm untuk *milling*, *glove box* sebagai tempat penimbangan sampel dan tempat pengambilan sampel untuk karakterisasi selanjutnya agar terhindar dari oksidasi. Sebagai alat *milling* digunakan konvensional *milling* dan *High Energy Milling* tipe SPEX 8000. Untuk karakterisasi struktur kristal digunakan XRD Philips tipe PW 1710, dan untuk pengamatan morfologi dan ukuran partikel dipergunakan SEM serta *Small Angle Neutron Scattering* (SANS) SMARTer. Analisa termal dilakukan dengan menggunakan DTA dan untuk pengujian kemampuan penyerapan hydrogen dilakukan dengan menggunakan peralatan hidriding tipe Sievert

3.2 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penelitian disertasi ini dilakukan dalam 2 tahap, yaitu tahap pembuatan sampel dan tahap pengujian *performance* penyerapan hidrogen sampel.

Tahapan penelitian meliputi:

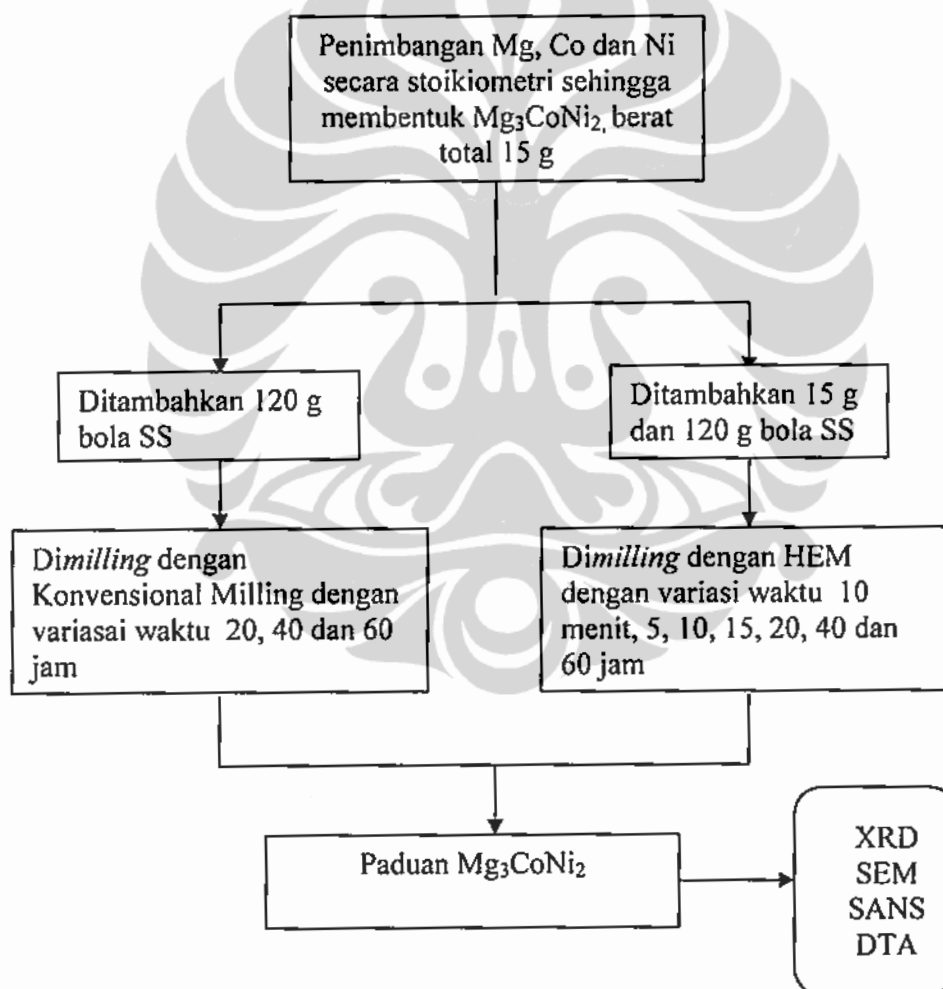
1. Tahap pembuatan sampel. Tahapan ini akan menentukan paduan yang terbentuk dan ukuran partikel sampel. Metode pembuatan sampel dilakukan dengan 2 cara, yaitu metode pemaduan mekanik kering dan metode pemaduan mekanik basah. Pada pembuatan sampel ini dilakukan dengan memvariasikan waktu *milling*.
2. Pengujian *performance* penyerapan hidrogen dilakukan untuk mengetahui kapasitas penyerapan hidrogen yang dapat diserap dan kecepatan reaksi penyerapan hidrogen sampel dengan memvariasikan temperatur reaksi hidriding.

3.2.1 Alir Pembuatan Paduan dengan Metode Pemaduan Mekanik Kering

Pemaduan mekanik kering dilakukan dengan menggunakan 2 alat *milling*, yaitu konvensional *milling* dan *High Energy Milling* (HEM). Kelebihan konvensional *milling* adalah proses *milling* dapat dilakukan secara terus menerus dan kecepatan putar dapat diset sesuai keinginan. Sedangkan kelebihan HEM adalah energinya yang lebih besar daripada konvensional *milling*. Selain HEM memiliki kelebihan, HEM juga memiliki kelemahan, yaitu waktu *milling* tidak dapat dilakukan secara kontinyu, maksimal hanya dapat dilakukan selama 90 menit dan diperlukan jeda waktu untuk menghilangkan panas yang ditimbulkan akibat *milling* sebelum *milling* berikutnya dilakukan.

Pemaduan mekanik dengan menggunakan HEM dilakukan dengan menggunakan 2 macam rasio berat bola terhadap sampel, yaitu 1:1 dan 8:1. Tujuan variasi rasio berat bola terhadap sampel ini untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses pembuatan paduan.

Proses penimbangan sebelum *dimilling* dilakukan di dalam glove box yang berisi gas argon dengan kemurnian tinggi untuk menghindari masuknya oksigen ke dalam vial. Demikian juga ketika pengadukan sampel karena mengalami pengerasan setelah *dimilling* beberapa waktu, terutama di awal waktu *milling*, setiap 1~ 3 jam sekali. Kemudian bola SS seberat 120g atau 15g dimasukkan ke dalam vial, untuk selanjutnya *dimilling* dengan variasi waktu 5, 10, 15, 20 dan 40 jam untuk rasio B/S=1 dan 20, 40, 60 jam untuk rasio B/S=8. Diagram alir proses pemaduan mekanik kering ditunjukkan Gambar 3.1.

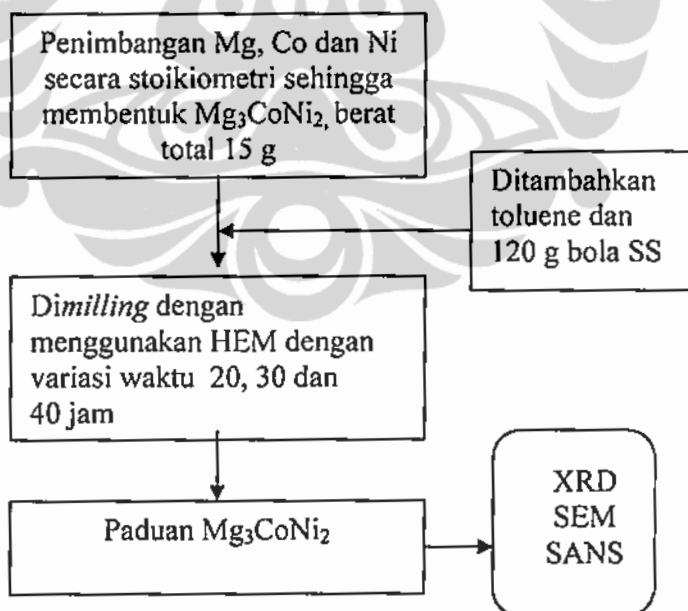


Gambar 3.1. Diagram alir pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 dengan metode pemaduan kering

3.2.2 Alir Pembuatan Paduan dengan Metode Pemaduan Mekanik Basah

Pemaduan mekanik basah dilakukan untuk menghindari masuknya oksigen ke dalam sampel sehingga terbentuk oksida logam. Selain itu, pada proses pemaduan mekanik basah ini tidak terjadi pengerasan pada sampel. Kelemahannya adalah bahan lumbrikan dapat berreaksi dengan bahan-bahan, oleh karena itu diperlukan bahan lumbrikan yang tidak berreaksi dengan bahan sampel. Dalam penelitian ini bahan lumbrikan yang digunakan adalah toluen dengan kemurnian tinggi.

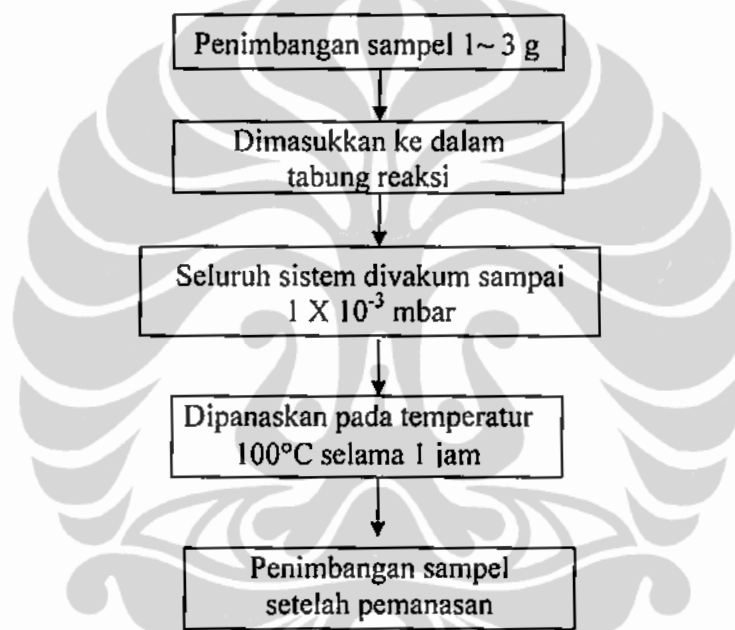
Walaupun menggunakan toluene untuk menghindari oksidasi, proses penimbangan bahan-bahan sebelum *dimilling* tetap dilakukan di dalam glove box yang telah terisi gas argon kemurnian tinggi. Proses pemaduan mekanik basah ini sama dengan proses pemaduan mekanik kering tetapi sebelum *dimilling* ditambahkan toluene ke dalam vial yang telah berisi bahan-bahan dasar. Diagram alir proses pemaduan mekanik basah ditunjukkan Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 dengan metode pemaduan basah

3.2.3 Alir Persiapan Pengujian *Performance* Penyerapan Hidrogen

Sebelum sampel dihidriding dilakukan pemanasan terlebih dahulu. Tujuan pemanasan ini adalah menghilangkan kandungan air dan toluen di dalam sampel. Oleh karena itu pemanasan hanya dilakukan pada temperatur 100°C selama 1 jam sambil tabung reaksi divakum untuk membuang gas-gas yang dihasilkan selama proses pemanasan. Diagram alir persiapan pengujian *performance* penyerapan hidrogen ditunjukkan Gambar 3.3.

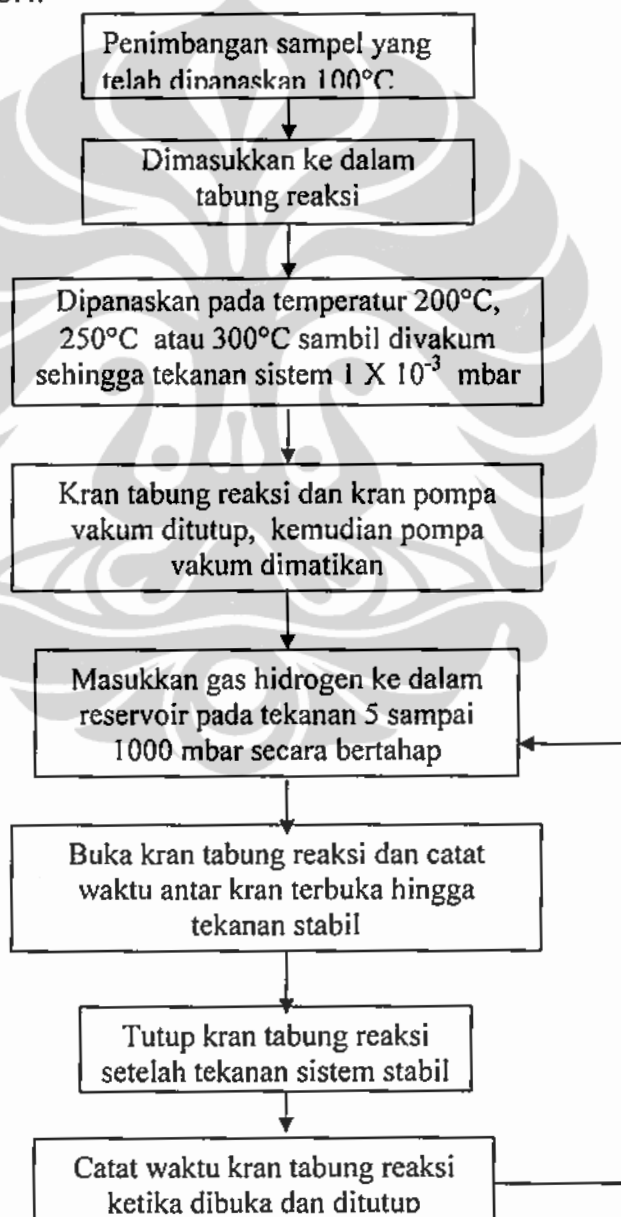


Gambar 3.3. Diagram alir persiapan sampel untuk pengukuran kemampuan penyerapan hidrogen

3.2.4 Alir Pengujian *Performance* Penyerapan Hidrogen

Pengujian *performance* sampel dilakukan untuk mengetahui kemampuan bahan dalam menyerap hidrogen dan kecepatan penyerapannya. Pengukuran kapasitas dan kecepatan penyerapan dilakukan pada tekanan di bawah 1 atm secara bertahap. Setelah sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi seluruh sistem divakum hingga mencapai 1×10^{-3} mbar. Kemudian sampel dipanaskan pada 200°C, 250°C atau 300°C sesuai dengan temperatur yang diinginkan.

Setelah tempertur dan vakum tujuan tercapai, hidrogen mula-mula dimasukkan ke dalam reservoir pada tekanan ± 5 mbar setelah tekanan stabil, kran tabung reaksi dibuka ditunggu sampai tekanan sistem stabil, kemudian kran tabung reaksi ditutup, isi kembali reservoir dengan hidrogen, buka kran tabung reaksi sampai tekanan stabil demikian seterusnya sampai tekanan di dalam tabung reaksi mendekati 1000 mbar. Tekanan dan waktu ketika kran tabung reaksi dibuka dan ditutup dicatat. Diagram alir pengujian performance penyerapan hidrogen ditunjukkan Gambar 3.4.

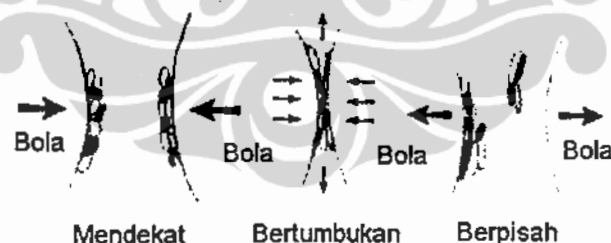


Gambar 3.4. Diagram alir pengukuran kemampuan penyerapan hidrogen

3.3 METODOLOGI PEMBUATAN PADUAN

Pembuatan paduan pada penelitian ini menggunakan metode pemaduan mekanik atau *Mechanical Alloying*. *Mechanical alloying (MA)* adalah sebuah teknik pencampuran yang merupakan sebuah metode reaksi padatan (*solid state reaction*) dari beberapa logam (*alloy*) dengan memanfaatkan proses deformasi untuk membentuk suatu paduan. Proses *mechanical alloying* ini sangat berbeda dengan teknik konvensional, misalkan proses pemanasan (*heat treatment*) baik *sintering* maupun peleburan (*melting*) dan reaksi kimia. Derajat deformasi yang dicapai pada teknik konvensional ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan teknik *mechanical alloying* [38-39].

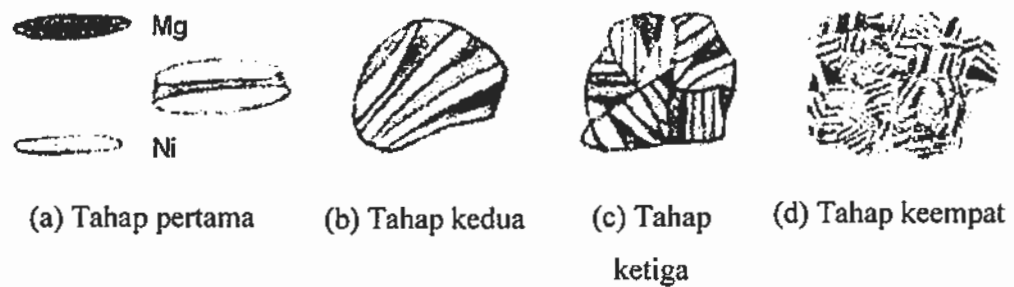
Pada awalnya campuran hanya terdiri dari serbuk logam unsur-unsur pembentuk paduan. Selama proses MA serbuk-serbuk logam secara periodik terjebak diantara bola-bola yang saling bertumbukan secara plastis terdeformasi. Bola-bola yang saling bertumbukan tersebut menyebabkan perpatahan, kemudian terjadi penyatuan dingin (*cold welding*) dari serbuk-serbuk secara elementer seperti yang di ilustrasikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses tumbukan bola-bola dalam media *milling* [38].

Ketika waktu *milling* meningkat, fraksi volume unsur-unsur dari bahan dasar menurun, sedangkan fraksi volume paduan meningkat. Ukuran, bentuk, kerapatan serbuk, dan derajat kemurnian mempengaruhi hasil akhir paduan.

Ada empat tahapan dalam *mechanical alloying* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tahapan *mechanical alloying* menurut referensi Benyamin dan Volin [38].

Tahap pertama adalah proses perataan serbuk dari bentuk bulat menjadi bentuk pipih (*plat like*) dan kemudian mengalami penyatuan (*welding prodominance*). Serbuk yang sudah diratakan (bentuk pipih) disatukan membentuk sebuah lembaran (*lamellar*).

Tahapan kedua adalah pembentukan serbuk pada arah yang sama (*equiaxed*), yaitu menyerupai lembaran berbentuk lebih pipih dan bulat. Perubahan bentuk ini disebabkan oleh pengerasan (*hardening*) dari serbuk.

Tahap ketiga adalah orientasi penyatuan acak (*welding orientation*) yaitu fragmen-fragmen membentuk partikel-partikel *equiaxed* kemudian disatukan dalam arah yang berbeda dan struktur lembaran mulai terdegradasi.

Tahap keempat *mechanical alloying* ini adalah proses *steady state (steady state processing)*, struktur bahan perlahan-lahan menghalus menjadi fragmen-fragmen, kemudian fragmen-fragmen tersebut disatukan dengan fragmen-fragmen yang lain dalam arah berlawanan.

3.4 METODOLOGI KARAKTERISASI

3.4.1 Analisa Struktur Kristal

Analisa struktur kristal paduan Mg_3CoNi_2 dilakukan dengan menggunakan XRD. Karakterisasi dengan XRD ini bertujuan untuk menentukan fasa-fasa yang terbentuk dan jumlahnya setelah *dimilling* dalam waktu tertentu sebelum dan

sesudah hidiriding. Pengukuran XRD dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)- BATAN..

Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-x dari *tube anode* Cu dengan panjang gelombang $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode: continuous-scan*, *step size* : $0,02^\circ$, dan *time per step* : 0,5 detik. Hasil pengukuran difraktometer dianalisa dengan menggunakan perangkat lunak MAUD (Material Analysis Using Diffraction).

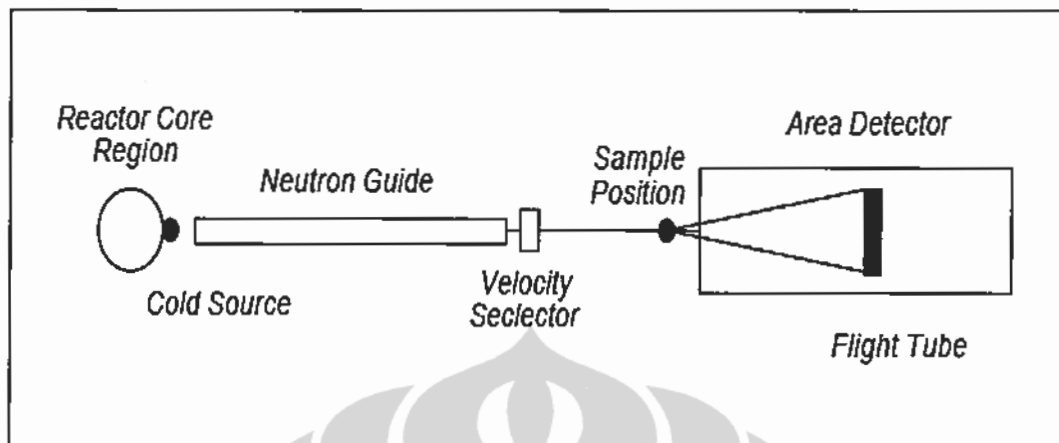
3.4.2 Analisa Morfologi SEM.

Analisa morfologi dari hasil *milling* dilakukan untuk melihat bentuk dan ukuran partikel, sejauh mana proses perubahannya akibat *milling*. Analisa morfologi SEM dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN. Perbesaran yang digunakan bervariasi antara 5000 X sampai 20 000 X.

3.4.3 Analisa SANS

Small Angle Neutron Scattering (SANS) merupakan salah satu teknik untuk mengamati berbagai fenomena presipitat, jarak antar partikel, ukuran dan bentuk partikel pada bahan dengan ukuran puluhan sampai ribuan angstrom. Kelebihan teknik ini terutama pada daya tembus neutronnya yang besar pada hampir semua bahan sehingga penggunaan sampel dalam bentuk bulk dapat dilaksanakan. Kelebihan SANS dibandingkan dengan SEM adalah dapat melihat obyek pengamatan pada ukuran yang lebih kecil dan sensitif terhadap unsur-unsur ringan seperti H, N, dan C. Secara umum peralatan SANS ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Pengamatan dengan SANS dilakukan di PTBIN-BATAN pada jarak detektor ke sampel (*SDD, sample to detector distance*) 1,5; 4 atau 5 dan 13m, serta panjang gelombang 0,403 nm. Waktu pengamatan selama 30 menit untuk jarak detektor 1,5 m, 20 menit untuk jarak detector 4 atau 5 m dan 15 menit untuk jarak detektor 13 m.



Gambar 3.7 Skema alat SANS

Keterangan dan prosedur penggunaan SANS adalah sebagai berikut:

1. Neutron dari sumber (reaktor nuklir) dialirkan melalui *neutron guide* menuju *velocity selector*.
2. *Velocity selector* berfungsi sebagai alat monokromatisasi berkas neutron. Kecepatan putaran *velocity selector* akan menghasilkan panjang gelombang tertentu.
3. Berkas yang telah termonokromatisasi ditangkap oleh sampel yang diletakkan pada kedudukan sampel untuk kemudian dihamburkan.
4. Hasil hamburan neutron oleh sampel ditangkap oleh detektor dua dimensi peka posisi (SD-PSD) yang berfungsi untuk mencacah neutron.
5. Data hasil cacahan yang berupa 2 dimensi ini kemudian direduksi menggunakan perangkat lunak SANS-BATAN menjadi data 1 dimensi untuk selanjutnya dianalisa.

Intensitas hamburan ditentukan dengan persamaan (3.2) berikut:

$$I(q) = N(\Delta\rho)^2 V^2 P(q) S(q) \quad (3.2)$$

Dimana I = intensitas hamburan

q = vektor hamburan

N = jumlah partikel

$\Delta\rho$ = faktor kontras, yang diperoleh dari selisih *scattering length density* sampel

$P(q)$ = faktor bentuk partikel

$S(q)$ = faktor struktur partikel

Sedangkan vektor hamburan diperoleh dari persamaan (3.3) berikut:

$$q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.3)$$

Dimana q = vektor hamburan

λ = panjang gelombang berkas neutron

θ = sudut hamburan

Dan *scattering length density* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4) berikut:

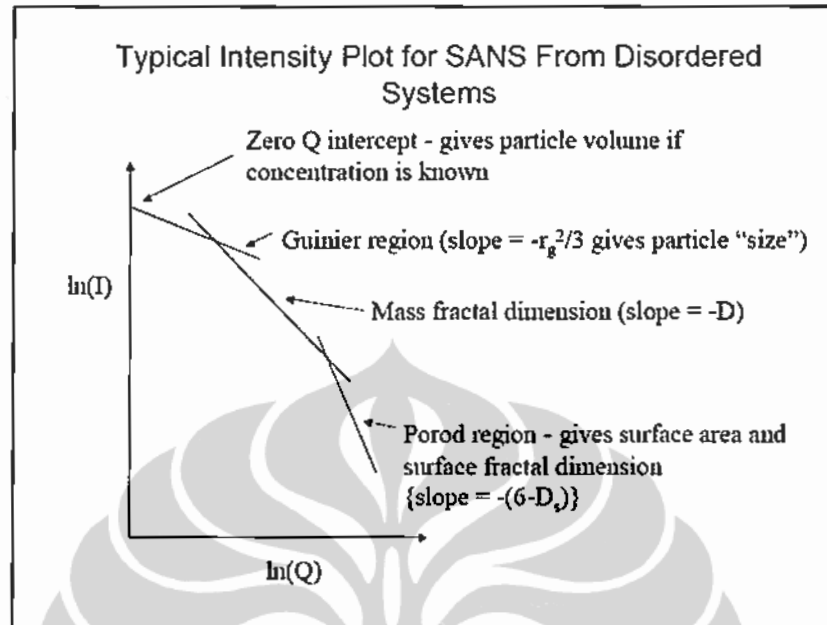
$$\rho_{SLD} = \frac{\sum_i^n b_i}{V} = N_A \left(\frac{\rho_{mass}}{M_w} \right) (\sum b_i)_{molecule} \quad (3.4)$$

Dimana N_A = bilangan Avogadro = 6×10^{23}

M_w = berat molekul atau unsur

b_i = panjang hamburan koheren atom i

Dari pola hamburan SANS setelah dikonversi menjadi 1 dimensi, dan di plot sebagai $\ln I$ vs $\ln q$ dapat diprediksikan informasi yang dapat diperoleh. Tipe pola hamburan dan informasi yang bisa diperoleh ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tipe pola hamburan SANS dan interpretasi data [40]

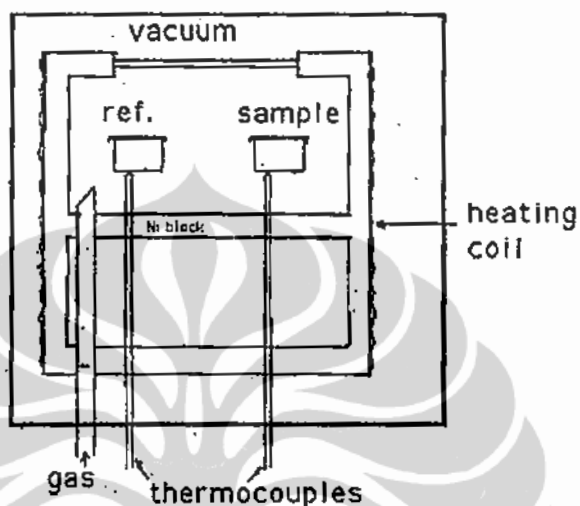
3.4.4 Analisa Termal DTA

Analisa termal menggunakan DTA dilakukan di PTBN-BATAN. Analisa termal merupakan salah cara untuk mengetahui sifat termal dan perubahan fasa pada bahan. Analisa DTA dilakukan sampai temperatur 800°C. Prinsip kerja DTA adalah membandingkan antara sampel dengan sampel standar yang telah diketahui parameter-parameter sifat termalnya. Skema peralatan DTA ditunjukkan Gambar 3.9.

Keterangan dan prosedur penggunaan DTA adalah sebagai berikut:

1. Sampel dan sampel standar dihubungkan dengan termokopel untuk mengontrol pemanasan
2. Sistem divakum kemudian dialiri gas inert untuk menghindari oksidasi selama proses pemanasan, diantaranya gas argon

3. Sampel standar dan sampel uji dimasukkan ke dalam wadah (*crucible*) yang bahannya disesuaikan dengan sifat bahan uji. Diantaranya terbuat dari platina dan alumina



Gambar 3.9 Skema alat DTA

Jika DTA terkalibrasi dengan sampel standar yang kapasitas panas C_p sudah diketahui maka kapasitas panas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.5).

$$C_p = K \frac{T_2 - T_1}{mH} \quad (3.5)$$

Dimana C_p = kapasitas panas

K = konstanta alat yang diperoleh dari kalibrasi

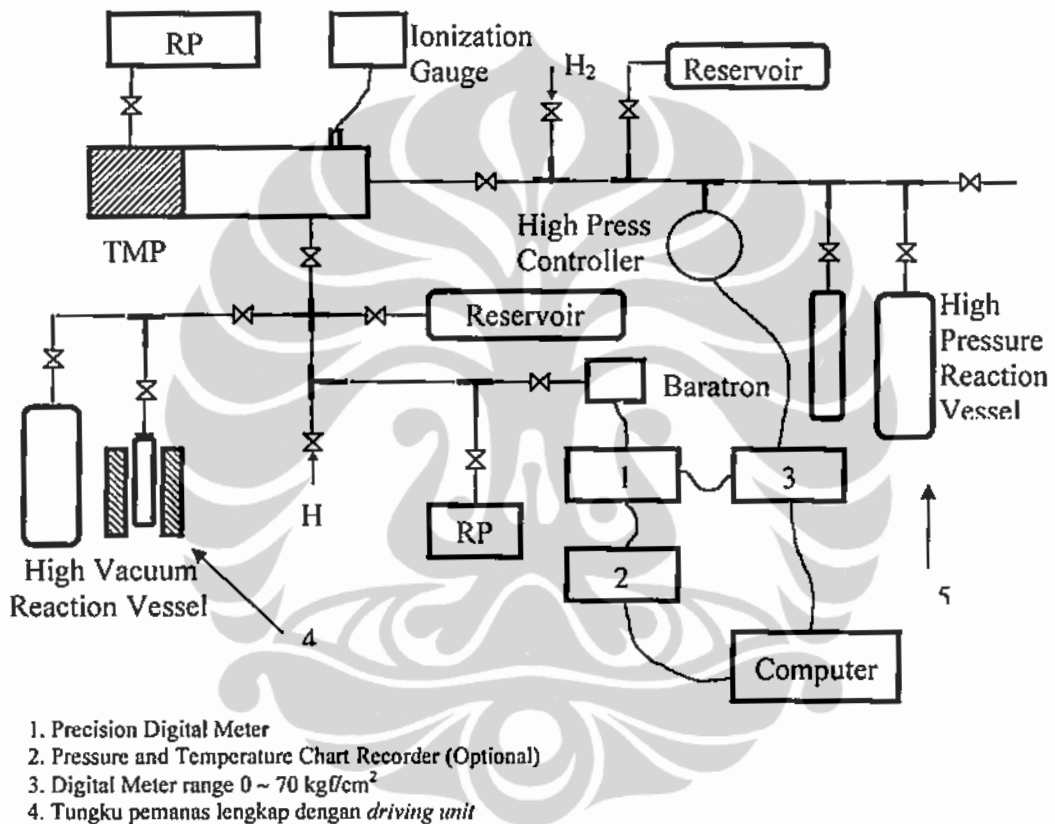
T = temperatur ketika dengan dan tanpa sampel

M = berat sampel

m = kecepatan pemanasan

3.5 METODOLOGI PENGUJIAN PENYERAPAN HIDROGEN

Pengujian penyerapan hidrogen dilakukan di PT Batan Teknologi Serpong dengan menggunakan alat tipe Sievert yang dirangkai sendiri. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas hidrogen yang dapat diserap sampel dan kecepatan penyerapannya. Skema peralatan hidriding ditunjukkan Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skema peralatan hidrogenasi-dehidrogenasi

Keterangan dan prosedur penggunaan alat hidriding adalah sebagai berikut:

1. Seluruh sistem divakum dengan menggunakan *rotary pump* (RP) kemudian menggunakan *turbo molecular pump* (TMP) untuk mendapatkan vakum yang lebih tinggi. Selama pompa vakum dijalankan, tungku pemanas tabung reaksi dihidupkan secara perlahan-lahan.
2. Setelah *High Press Controller* menunjukkan kevakuman sebesar 1×10^{-3} mbar dan temperatur mencapai angka yang diinginkan, kran tabung reaksi

dan kran pompa ditutup, kemudian dimasukkan gas hidrogen ke dalam reservoir mulai dari tekanan rendah sampai 1000 mbar.

3. Setelah tekanan stabil, kran tabung reaksi dibuka dan ditunggu sampai tekanan sistem stabil.
4. Catat waktu dan tekanan ketika kran tabung reaksi dibuka dan ketika tekanan sistem telah stabil.

Dengan menggunakan persamaan gas ideal (3.6), maka selisih antara tekanan teoritis dan tekanan riil adalah jumlah gas hidrogen yang diserap oleh sampel.

$$PV = nRT \quad (3.6)$$

Dimana P = tekanan (atm)

V = volume sistem (l)

n = jumlah mol dari sampel

R = konstanta gas idel yaitu 82,06 atm/mol

T = temperatur reaksi dalam Kelvin

BAB IV

HASIL PEMBUATAN PADUAN

4.1 PEMADUAN MEKANIK KERING

Paduan (alloy) adalah campuran dua atau lebih logam yang membentuk larutan padat primer atau sekunder. Bila logam A dipadukan dengan logam B akan didapatkan berbagai struktur dan susunan atom dalam paduan tersebut, tergantung pada jumlah komponen logam dan temperatur paduan. Jadi bila dua jenis atom seolah-olah sama dan terdispersi dengan homogen, maka akan terbentuk larutan padat [41]. Tetapi ini hanya terjadi pada beberapa jenis saja seperti Cu-Ni. Biasanya elemen kedua terbatas kelarutannya dalam larutan padat dan terbentuk larutan primer yang mempunyai struktur kristal sama dengan logam induk. Pada konsentrasi elemen kedua lebih tinggi, terbentuk fasa baru yang disebut fasa antara, dengan struktur kristal yang umumnya berbeda dengan struktur logam induk. Kelarutan unsur-unsur logam pada larutan padat primer dipengaruhi oleh ukuran atom, elektrokimia dan valensi atom.

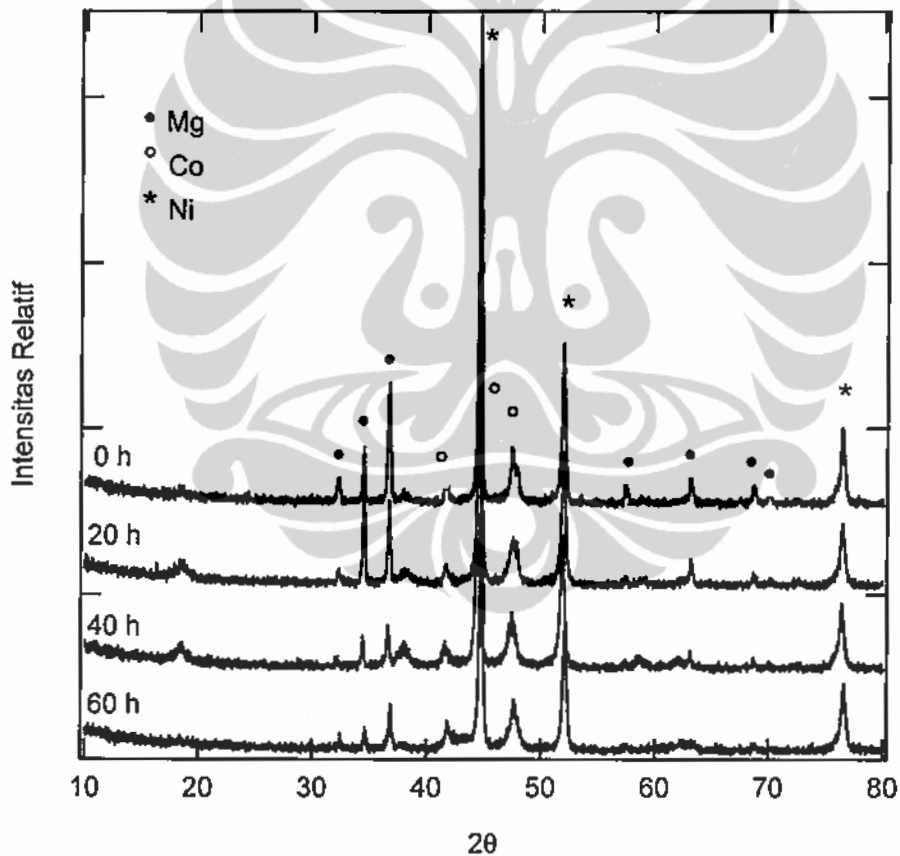
Sedangkan senyawa (compound) adalah campuran 2 atau lebih unsur logam yang membentuk ikatan sehingga terbentuk fasa baru yang berbeda dari unsur pembentuknya.

Pembuatan paduan dengan metode pemaduan mekanik kering merupakan salah cara untuk mendapatkan bahan berukuran nano. Ukuran butir dan struktur kristal bahan akan memberikan pengaruh pada penyerapan hidrogen. Bahan yang memiliki ukuran nano akan memberikan pengaruh pada kinetika penyerapan hidrogen [42,43]. Sedangkan kapasitas penyerapan lebih ditentukan oleh struktur kristal dari bahan, seperti telah dibahas dalam Bab II di atas. Oleh karena itu keberhasilan pembuatan sampel ini akan mempengaruhi keberhasilan penyerapan hidrogen. Pada penelitian ini pemaduan mekanik kering menggunakan 2 jenis alat, yaitu *milling* energi tinggi dan konvensional *milling*.

Penelitian pembuatan paduan dengan metode pemaduan mekanik kering mengikuti alur diagram pemaduan mekanik kering di bab sebelumnya.

4.1.1 Konvensional *Milling*

Kelebihan konvensional *milling* dibandingkan dengan HEM adalah proses *milling* yang dapat dilakukan secara kontinu sesuai target waktu yang diinginkan. Gambar 4.1 adalah pola difraksi XRD setelah dimillling dengan konvensional *milling* selama 20, 40 dan 60 jam. Pada penggunaan konvensional *milling*, dengan bertambahnya waktu *milling* puncak magnesium semakin kecil sedangkan kobalt dan nikel hampir tidak mengalami perubahan. Hasil ini hampir sama dengan hasil ketika menggunakan rasio berat bola terhadap sampel 1:1 di atas tetapi dengan waktu *milling* yang lebih cepat.

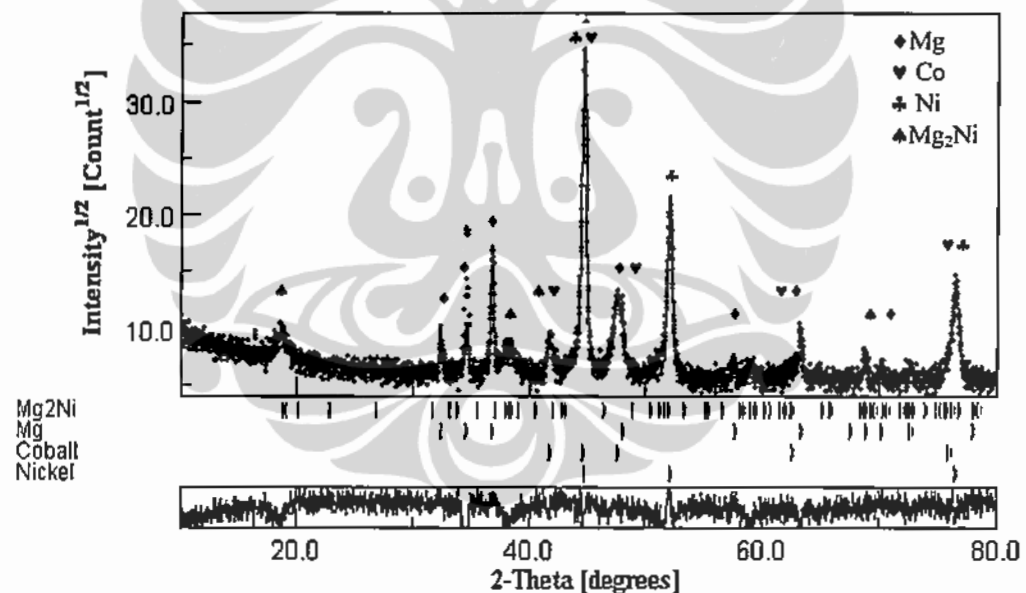


Gambar 4.1. Pola difraksi sinar-X paduan Mg₃CoNi₂ pada rasio B/S=8 (konvensional *milling*)

Berdasarkan data kristalografi [44] fasa-fasa yang mungkin dapat terbentuk selain bahan dasar Mg, Co dan Ni adalah Mg_2Ni , $MgNi_2$, MgO , NiO , CoO , $CoNi$, Co_3Ni , Mg_2Co , $MgCo_2$, $Mg_3Co_2Ni_4$ dan $MgCoNi$. Data-data kristalografi dari fasa-fasa tersebut terdapat pada Lampiran 4.

Dalam analisa data difraksi sinar-X oksida yang digunakan hanya MgO karena oksida ini paling mudah terbentuk. Selain itu oksida NiO dan CoO memiliki data struktur kristal yang hampir sama dengan MgO . Fasa $CoNi$ dan Co_3Ni juga tidak digunakan dalam analisa karena fasa $CoNi$ hampir sama dengan fasa Ni sedangkan fasa Co_3Ni hampir sama dengan fasa Co atau dengan kata lain terjadi sebagian kecil substitusi pada fasa induknya.

Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 20 jam secara konvensional diperlihatkan pada Gambar 4.2.

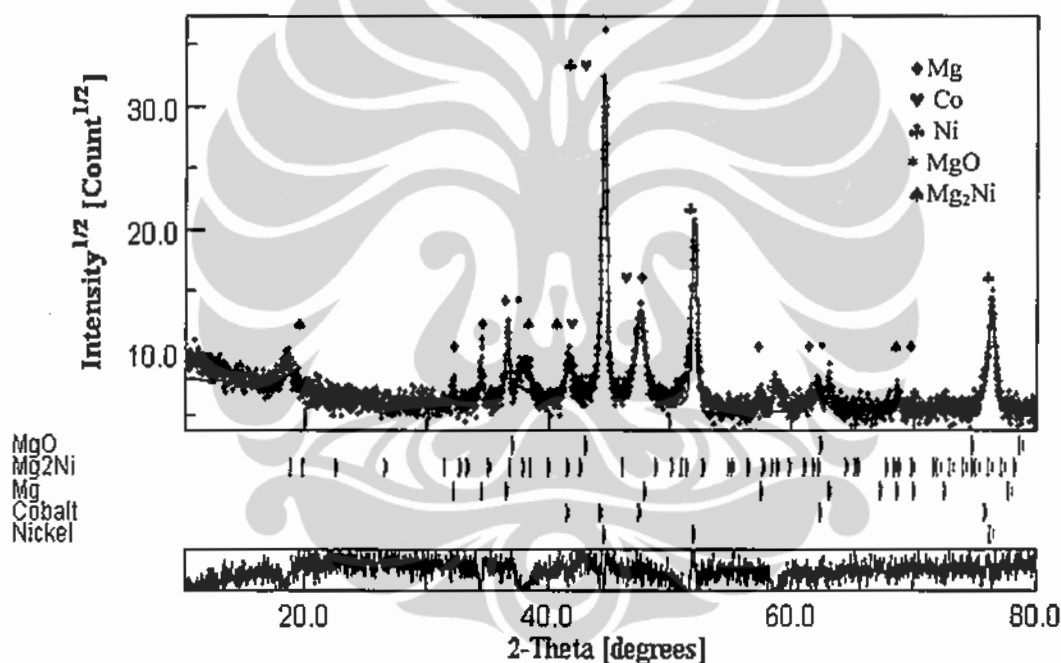


Gambar 4.2 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 20 jam dengan *milling* konvensional

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 29,44 %, kobalt 9,73 %, magnesium 22,68 %, dan Mg_2Ni 10,68 %. Munculnya fasa Mg_2Ni menandakan bahwa energi yang dihasilkan oleh tumbukan bola-bola dengan sampel telah cukup untuk terbentuknya paduan Mg_2Ni . Sedangkan fasa MgO belum muncul sebagaimana pada *milling* menggunakan HEM di atas

walaupun waktu *milling* cukup lama. Hal ini karena ketika *milling* dengan menggunakan HEM setiap 3 jam *milling* dilakukan pengadukan untuk menghindari sampel dari pengerasan sedangkan ketika *milling* secara konvensional tidak dilakukan pengadukan. Sehingga ketika pengadukan dilakukan oksigen masuk ke dalam sampel.

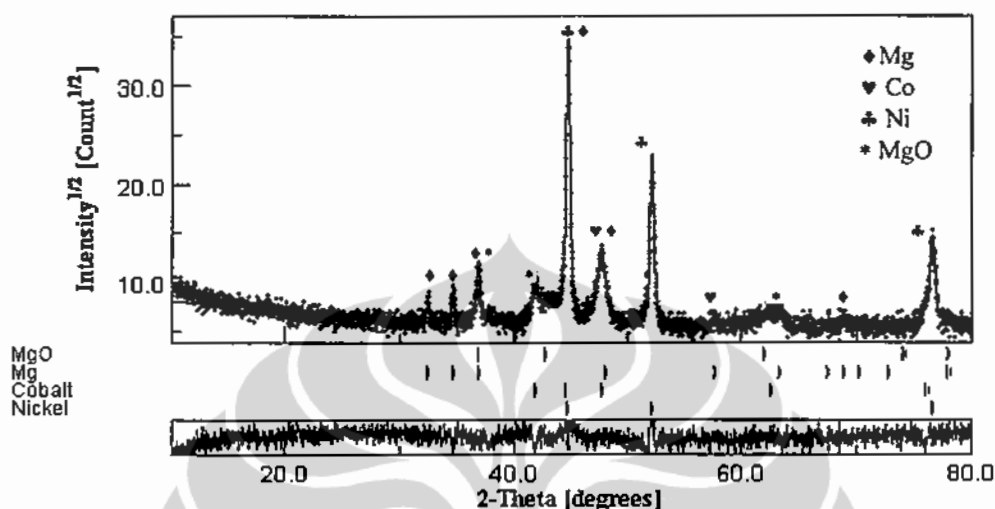
Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 40 jam secara konvensional diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 31,88 %, kobalt 12,75 %, magnesium 25,40 %, Mg_2Ni 21,14 %, dan MgO 8,82%.



Gambar 4.3 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 40 jam dengan *milling* konvensional

Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 60 jam secara konvensional diperlihatkan pada Gambar 4.4. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 28,98 %, kobalt 10,29 %, magnesium 25,29 %, dan MgO 35,43 %. Fasa Mg_2Ni yang sudah mulai terbentuk sebesar 10,68 % setelah *milling* selama 40 jam bertambah

menjadi 21,14 % tetapi tidak muncul lagi setelah *milling* 60 jam karena teroksidasi menjadi MgO.



Gambar 4.4 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 60 jam dengan *milling* konvensional

Masuknya oksigen terjadi sewaktu sampel dibuka untuk dianalisa walaupun telah dilakukan di dalam glove box. Reaksi yang terjadi antar Mg_2Ni dengan O ditunjukkan pada reaksi kimia berikut:



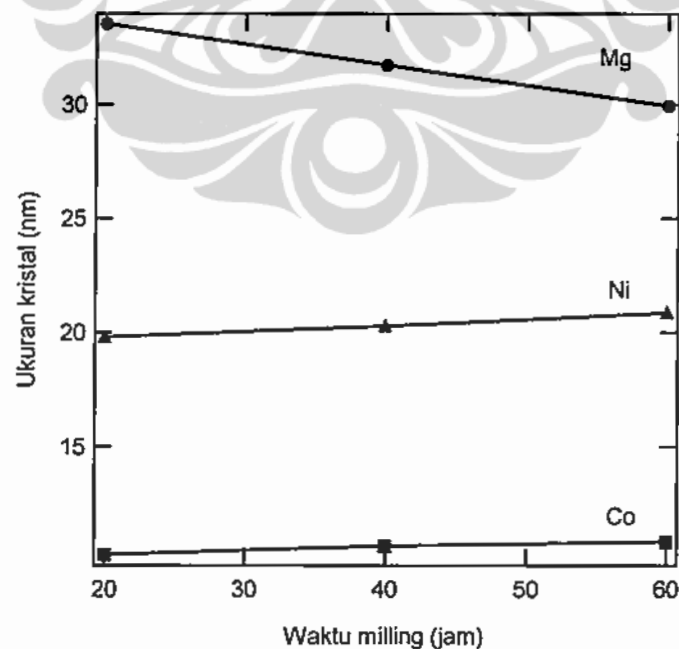
Dari reaksi kimia di atas dapat diketahui bahwa 1 mol Mg_2Ni berreaksi dengan 1 mol oksigen akan menghasilkan 2 mol magnesium oksida. Hal ini menguatkan data di atas bahwa 21,14 % Mg_2Ni teroksidasi membentuk 35,43 % MgO sementara prosentasi Mg tidak berubah. Hal ini karena Mg yang berada di Mg_2Ni lebih reaktif karena dalam proses pembentukan senyawa baru. Tetap kecenderungan reaksi antara Mg dengan O lebih besar dari pada antara Mg dengan Ni karena beda elektronegativitas antar Mg-O lebih besar dari pada antara Mg-Ni.

Data kualitas *refinement* dari berbagai waktu *milling* diperlihatkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Data kualitas *refinement* pola difraksi sinar-X dari Mg_3CoNi_2 pada konvensional *milling* (rasio 8:1)

Waktu milling (jam)	S	Rw (%)
20	1,6034	21,4674
40	1,5870	21,4626
60	1,3115	18,0165

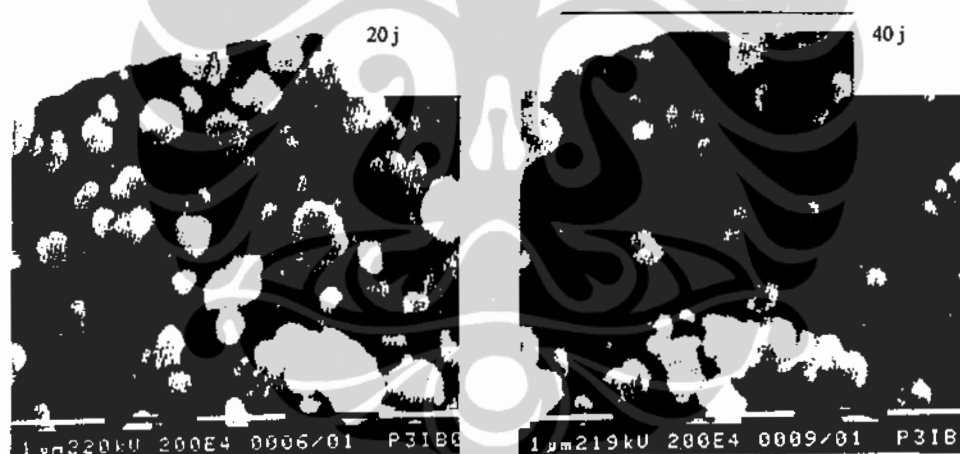
Hasil perhitungan ukuran kristal yang dibuat dengan menggunakan konvensional *milling* diperlihatkan pada Gambar 4.5. Perhitungan dilakukan pada Mg (101), Ni (200) dan Co(101). Ukuran kristal magnesium hanya berkurang sedikit yakni dari 33,5 nm menjadi 29,9 nm pada waktu *milling* 20 jam hingga 60 jam. Sedangkan kobalt hanya berkisar 10 nm dan nikel berkisar 20 nm dalam berbagai waktu *milling*.



Gambar 4.5. Perubahan ukuran kristal terhadap waktu *milling* pada rasio B/S=8 (konvensional *milling*)

Analisa SEM

Hasil pengamatan SEM diperlihatkan pada Gambar 4.6. Ukuran partikel Mg berkurang sedikit dengan bertambahnya waktu *milling* pada konvensional *milling*, yakni dari 1 μm pada *milling* 20 jam menjadi 0,75 μm . Akan tetapi proses pemaduan tidak terjadi walaupun sudah dimilling selama 40 jam karena bentuk partikel masih bulat seperti dalam kondisi sebelum dimilling. Hal ini memperkuat hasil dari pola difraksi sinar-X di atas, dimana puncak-puncak fasa Mg, Co dan Ni masih cukup kuat sekalipun telah dimilling selama 60 jam (Gb 4.4). Dari pengamatan dengan SEM dan perhitungan ukuran kristal di atas menunjukkan bahwa penggunaan HEM dengan rasio berat bola terhadap sampel 1:1 lebih baik hasilnya dibandingkan penggunaan konvensional *milling* dengan rasio berat bola terhadap sampel 8:1 untuk waktu *milling* yang sama

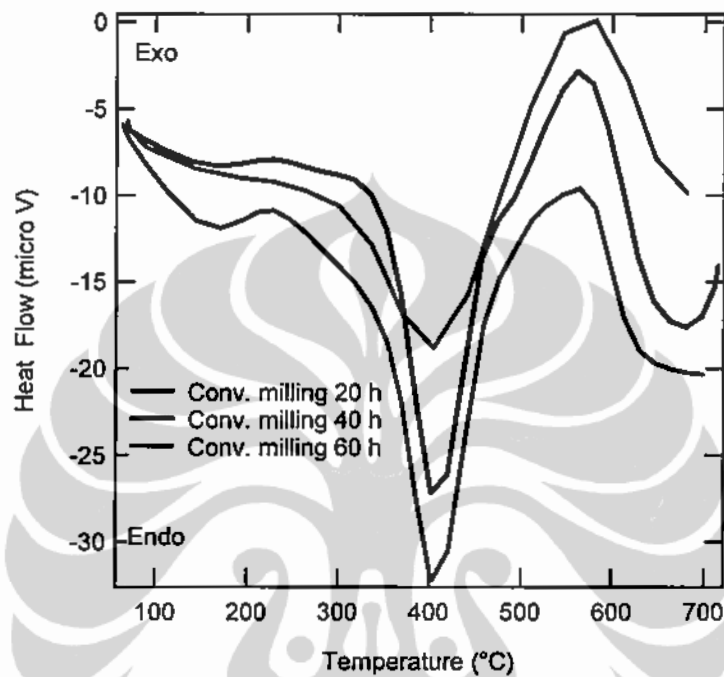


Gambar 4.6. Perubahan bentuk dan ukuran paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/P=8 (konvensional milling)

Analisa DTA

Hasil pengukuran dengan DTA diperlihatkan pada Gambar 4.7. Pada pembuatan dengan menggunakan konvensional *milling*, tampak adanya puncak endotermik. Sebagaimana pada pembuatan dengan rasio berat bola terhadap sampel 1:1 menggunakan HEM, puncak ini merupakan temperatur reaksi

$Mg + O \rightarrow MgO$. Adanya puncak eksotermik pada temperatur sekitar $200^{\circ}C$ dan antara $400-600^{\circ}C$ kemungkinan merupakan temperatur rekristalisasi. Dan untuk memastikannya perlu penelitian lebih lanjut lagi.



Gambar 4.7. Hasil pengukuran DTA pada pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 (konvensional *milling*)

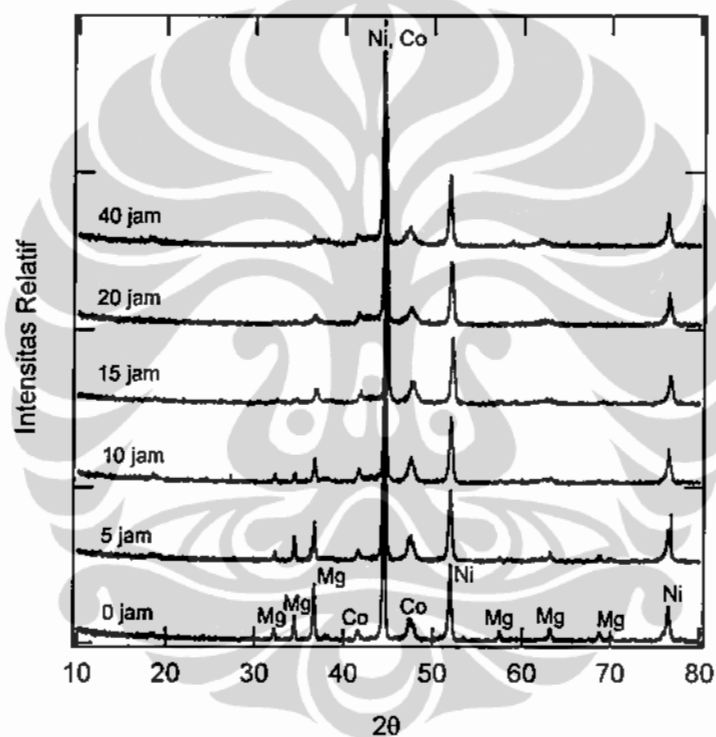
4.1.2 High Energy Milling

Untuk mengetahui pengaruh rasio berat bola terhadap sampel maka dalam penelitian ini digunakan 2 macam rasio yaitu rasio berat bola terhadap sampel (B/S) 1:1 dan 8:1.

4.1.1.1 Rasio Berat Bola Terhadap Sampel 1:1

Sampel yang diperoleh dari hasil milling berupa serbuk yang halus. Pengamatan dengan menggunakan XRD dilakukan pada bahan uji untuk

mengetahui fasa-fasa yang terbentuk setelah *dimilling*. Pola difraksi sampel yang dengan waktu *milling* 10 menit, 5, 10, 15, 20 dan 40 jam diperlihatkan pada Gambar 4.8. Secara umum dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu *milling* intensitas puncak-puncak magnesium semakin berkurang sedangkan puncak-puncak kobalt dan nikel tidak mengalami banyak perubahan. Hal ini disebabkan Mg merupakan bahan yang lunak, sehingga dapat dengan mudah dihancurkan. Oleh sebab itu Mg mudah mengalami amorfisasi dibandingkan dengan Ni.

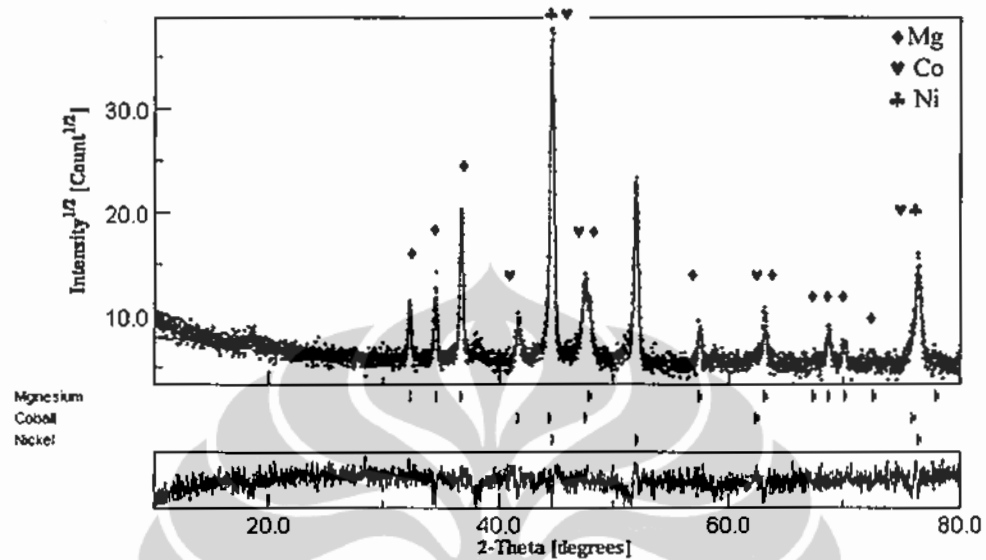


Gambar 4.8. Pola difraksi paduan Mg₃CoNi₂ pada rasio B/P= 1:1

Analisa XRD

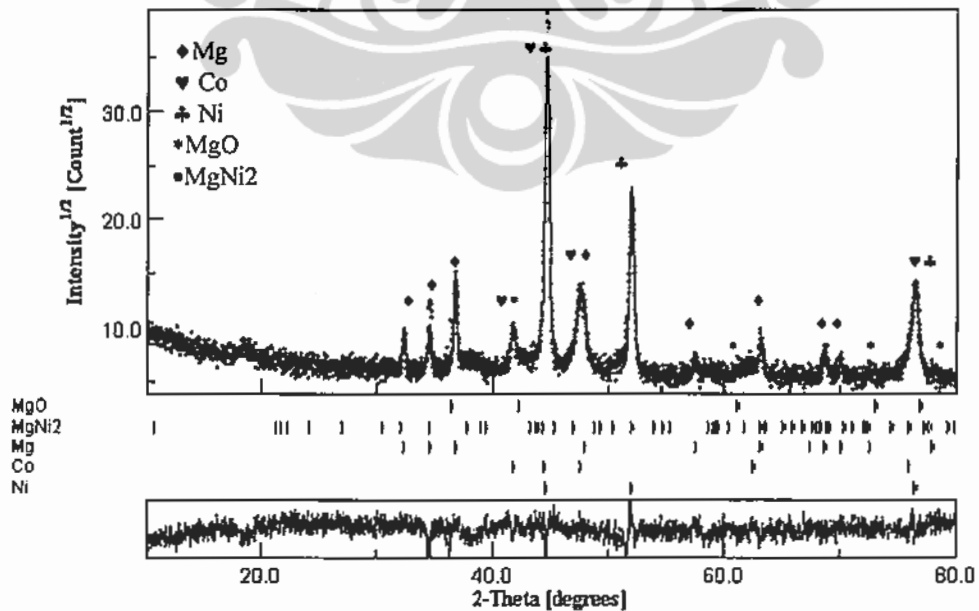
Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD pada *milling* 10 menit diperlihatkan pada Gambar 4.9. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 25,11 %, kobalt 7,71 % dan magnesium 67,18 %. Jumlah masing-masing unsur ini mendekati kondisi awal yakni dari nikel, kobalt dan magnesium berturut-turut sebesar 21,38 %, 10,73 %

dan 67,89 %. Perbedaan ini disebabkan kondisi sampel ketika dicuplik untuk pengukuran XRD tidak tercampur dengan baik.



Gambar 4.9 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 10 menit.

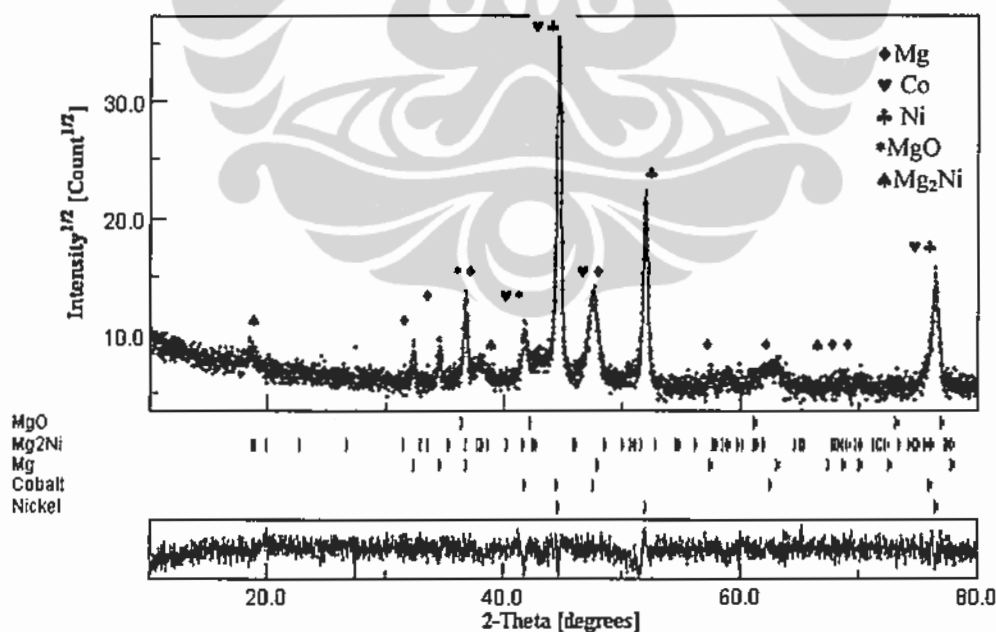
Selanjutnya hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 5 jam diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 5 jam.

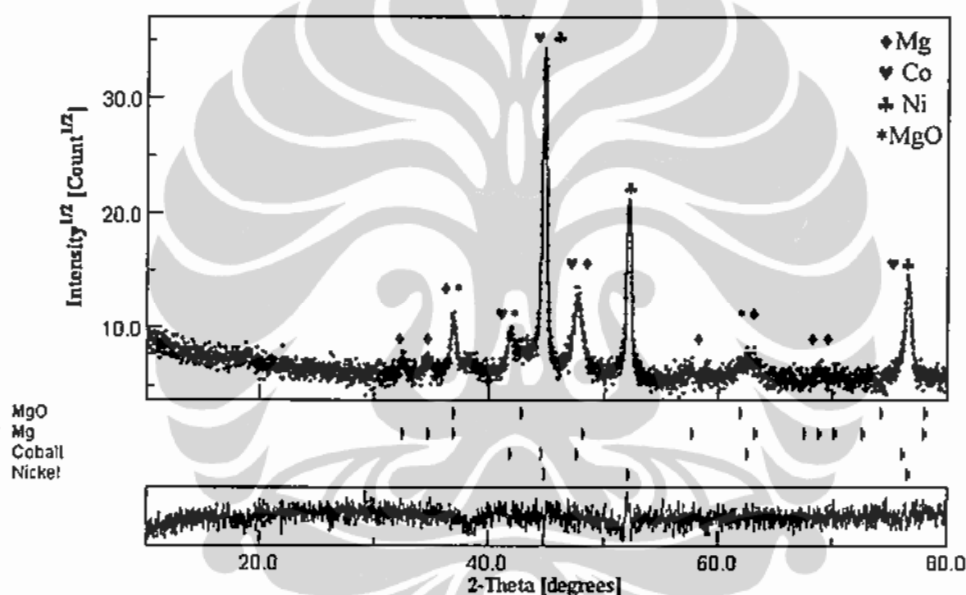
Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 27,41 %, kobalt 9,96 %, magnesium 41,91 %, $MgNi_2$ 4,41 % dan MgO 17,14 %. Sedangkan fasa-fasa yang lain belum terbentuk. Berkurangnya fasa magnesium dan munculnya fasa MgO karena magnesium sangat mudah teroksidasi menjadi MgO sehingga walaupun baru *dimilling* selama 5 menit sudah terbentuk oksida MgO yang cukup banyak.

Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 10 jam diperlihatkan pada Gambar 4.11. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 26,66 %, kobalt 10,14 %, magnesium 29,14 %, Mg_2Ni 8,97 % dan MgO 25,08 %. Sedangkan fasa-fasa yang lain belum terbentuk. Fasa $MgNi_2$ tidak muncul lagi setelah *milling* selama 10 jam karena fasa ini merupakan fasa yang kurang stabil atau fasa intermediet yang timbul karena unsur-unsur paduan kurang homogen, waktu *milling* yang sebentar dan suhu anil yang rendah. Fasa intermediet ini akan dan akan berkurang dengan bertambahnya waktu *milling* atau dengan anil.[7]



Gambar 4.11 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 10 jam.

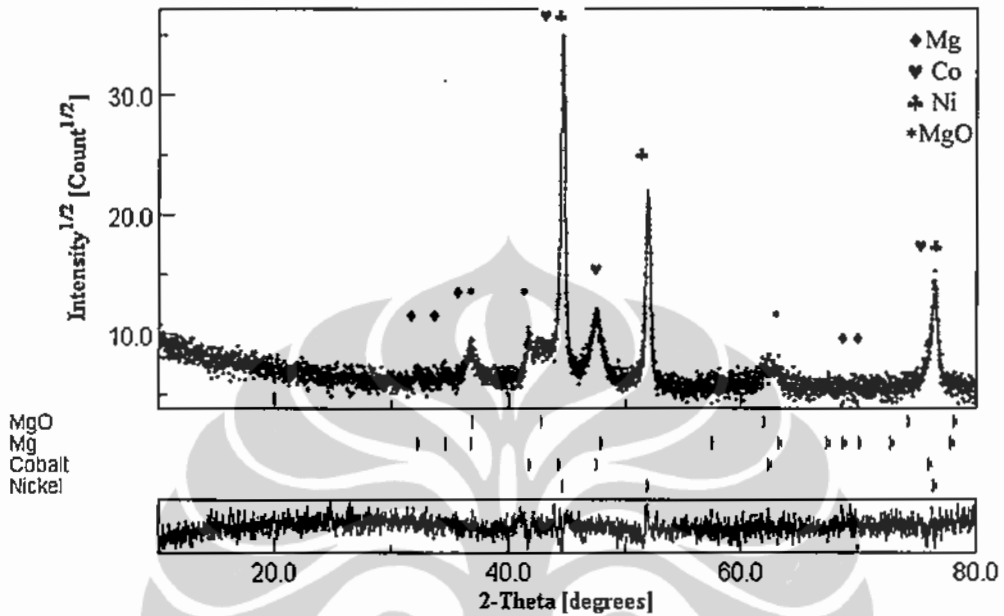
Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 15 jam diperlihatkan pada Gambar 4.12. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 26,03 %, kobalt 9,51 %, magnesium 22,68 %, dan MgO 41,27 %. Fasa Mg_2Ni tidak muncul lagi pada *milling* selama 15 jam sedangkan fasa MgO mengalami kenaikan jumlah yang cukup tajam. Hal menunjukkan bahwa fasa Mg_2Ni merupakan fasa yang mudah teroksidasi. Fasa-fasa yang lain belum terbentuk karena walaupun waktu *milling* sudah cukup lama tetapi energi yang diperlukan untuk pembentukan fasa belum tercukupi.



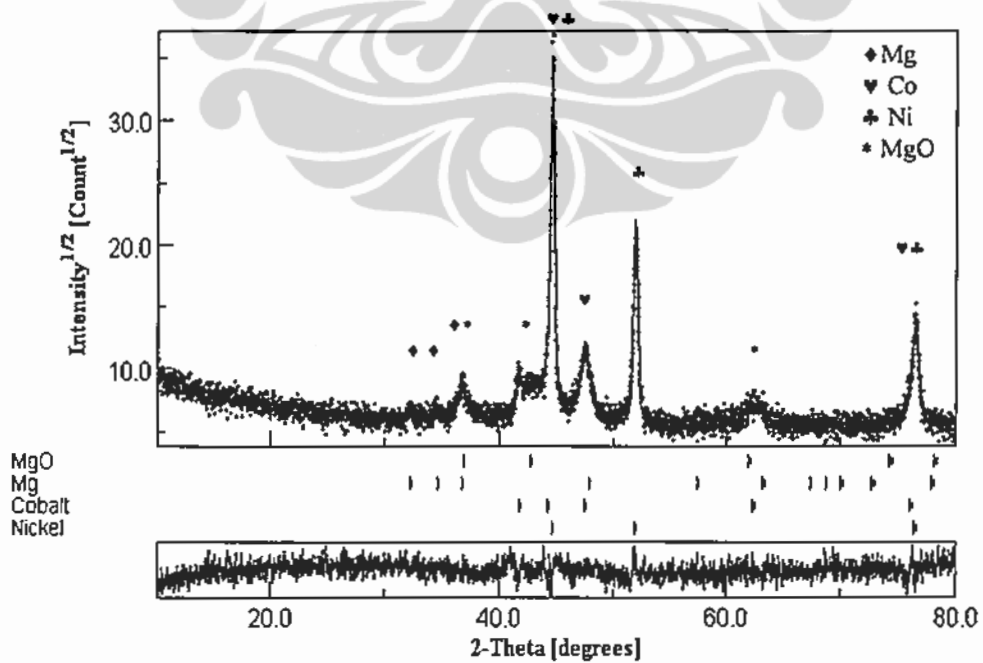
Gambar 4.12 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 15 jam.

Hasil analisa data difraksi sinar-X dengan menggunakan program MAUD setelah *milling* 20 jam diperlihatkan pada Gambar 4.13 dan setelah *milling* 40 jam diperlihatkan pada Gambar 4.14. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa fraksi volume nikel sebesar 29,75 %, kobalt 5,65 %, magnesium 16,88 %, dan MgO 47,56 %. Sedangkan fasa-fasa yang lain tidak muncul. Demikian pula hasil analisa difraksi pada *milling* selama 40 jam (diperlihatkan pada Gambar 4.7) hanya fasa Ni, Co, Mg dan MgO dengan fraksi volume nikel sebesar 25,78 %, kobalt 9,04 %, magnesium 18,27 %, dan MgO 46,90 %. Jumlah fraksi volume

yang tidak berbeda jauh antara waktu *milling* 20 jam dan 40 jam menunjukkan bahwa waktu *milling* yang optimal adalah 20 jam.



Gambar 4.13 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 20 jam.



Gambar 4.14 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 40 jam

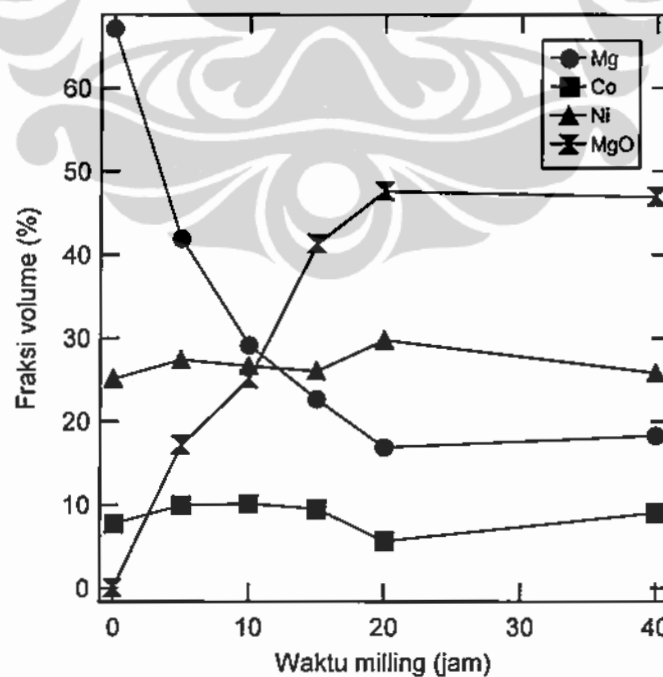
Data kualitas *refinement* ketika menganalisa difraksi sinar-X pada sampel Mg_3CoNi_2 dari berbagai waktu *milling* diperlihatkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Data kualitas *refinement* pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 pada Rasio berat bola terhadap sampel 1:1 (HEM)

Waktu milling (jam)	S	Rw (%)
0	1,3847	19,1431
5	1,3522	17,8825
10	1,3062	17,6985
15	1,1994	16,3794
20	1,2215	16,4573
40	1,3351	17,4698

S: kualitas fitting, Rw: bobot reliabilitas

Hasil perubahan fraksi volume fasa-fasa secara keseluruhan selama proses *milling* diperlihatkan pada Gambar 4.15.



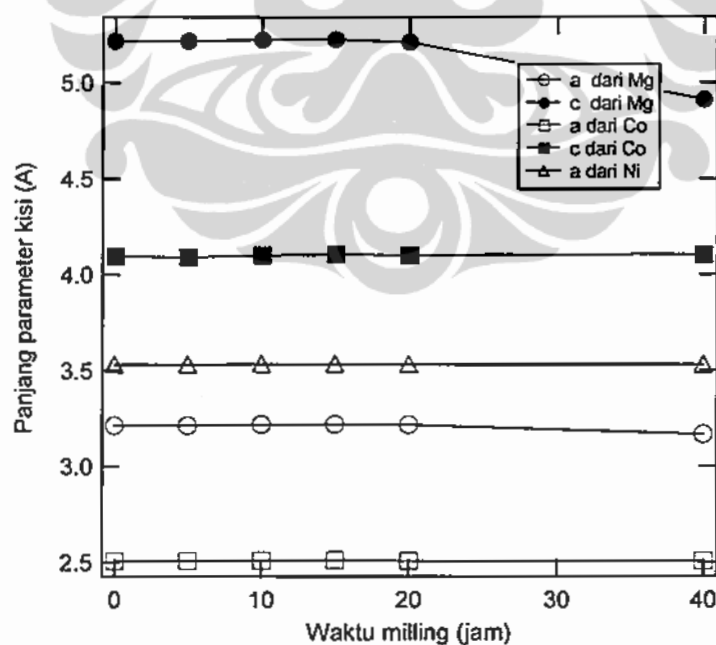
Gambar 4.15. Perubahan fraksi volume terhadap waktu *milling*

Perubahan fraksi volume yang cukup signifikan terjadi pada magnesium dari 67,18 % pada 0 jam menjadi 18,27 % pada 40 jam, sedangkan kobalt dan nikel fraksi volumenya bertambah, berturut-turut dari 7,71 % ke 9,04 % dan dari 25,113 % ke 25,78 %. Sedangkan fasa Mg_3CoNi_2 dan fasa Mg_2Ni yang merupakan fasa stabil, masing-masing terbentuk kurang dari 1 % fraksi volume sehingga dapat dikatakan belum terbentuk. Hal ini dikarenakan energi tumbukan yang dihasilkan bola dan vial belum cukup untuk membentuk paduan tersebut sehingga perlu ditambahkan waktu *milling*nya atau rasio berat bola terhadap sampel [46]. Dengan memfitting secara gaussian diperoleh persamaan penurunan fraksi volume Mg terhadap waktu *milling*:

$$Mg(\%) = 15.9 + 424e^{\frac{t-34}{24}} \quad (4.1)$$

dimana t adalah waktu *milling* (jam).

Dari analisa difraksi sinar-X juga dapat diperoleh perubahan parameter kisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



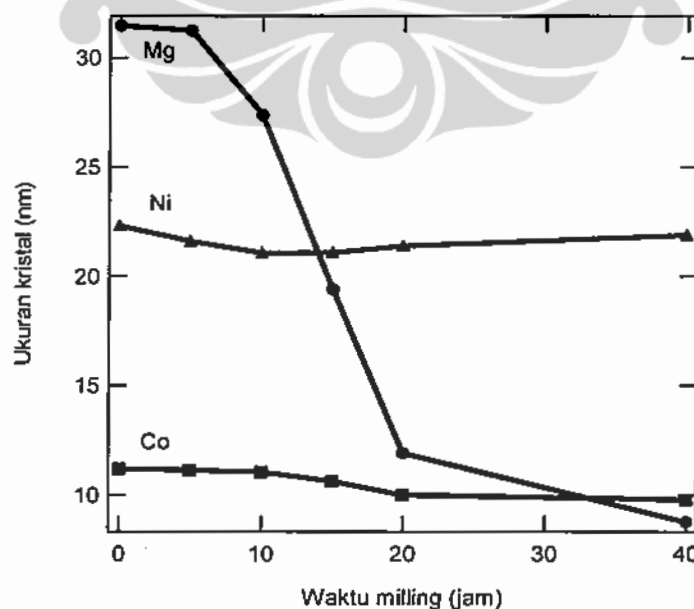
Gambar 4.16. Perubahan parameter kisi Mg,Co dan Ni terhadap waktu *milling*

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa parameter kisi Mg, Co dan Ni hanya sedikit mengalami perubahan. Pada waktu *milling* 0 jam parameter kisi magnesium $a = 3,2135(8) \text{ \AA}$ dan $c = 5,2161(2) \text{ \AA}$ setelah *dimilling* selama 40 jam menjadi $a = 3,1655(9) \text{ \AA}$ dan $c = 4,9099(2) \text{ \AA}$, kobalt dari $a = 2,5085(7) \text{ \AA}$ dan $c = 4,0935(2) \text{ \AA}$ menjadi $a = 2,5085(6)$ dan $c = 4,1024(2) \text{ \AA}$ serta nikel dari $3,5298(8) \text{ \AA}$ menjadi $5,5289(8) \text{ \AA}$. Perubahan parameter kisi dari magnesium pada waktu *milling* 40 jam disebabkan penghitungan yang kurang sempurna karena puncak-puncak difraksinya tidak tampak dengan jelas. Kestabilan parameter kisi ini memperjelas kesimpulan di atas bahwa *milling* dengan rasio berat bola terhadap sampel 1:1 belum mampu membentuk paduan baru.

Adapun secara mikro perubahan yang terjadi pada proses pembuatan paduan Mg-Co-Ni adalah adanya perubahan ukuran kristal. Dengan menggunakan persamaan Scherrer (persamaan 4.1) berikut, ukuran kristal rata-rata sampel dapat dihitung.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.1)$$

dimana D adalah ukuran kristal rata-rata, K konstanta yang proporsional unit sel, yaitu sebesar 0,9, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, β adalah FWHM puncak dalam radian dan θ adalah sudut difraksi pada puncak tersebut.

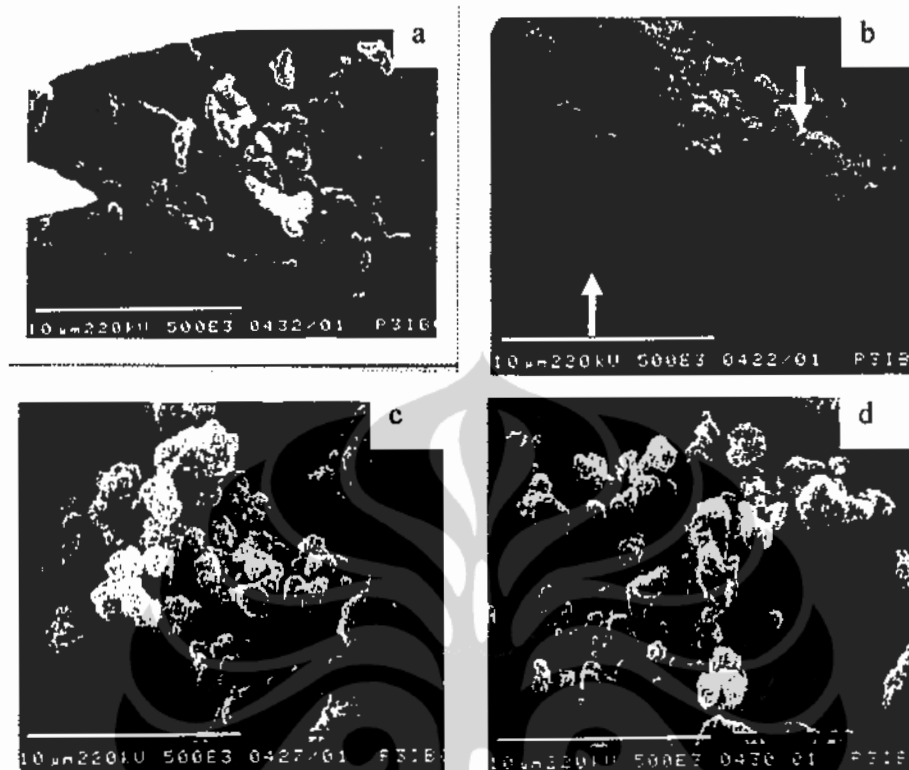


Gambar 4.17. Perubahan ukuran kristal masing-masing unsur terhadap waktu *milling*

Hasil perhitungan ukuran kristal rata-rata masing-masing unsur dengan menggunakan metode Scherrer ditunjukkan pada Gambar 4.17. Perhitungan dilakukan pada Mg (101), Ni (200) dan Co(101). Pada nikel penghitungan ukuran kristal tidak dilakukan pada puncak tertinggi yaitu bidang (111), karena pada sudut tersebut terdapat juga puncak kobalt bidang (002). Magnesium mengalami pengurangan ukuran kristal yang cukup signifikan dari 31 nm pada waktu *milling* 0 jam menjadi 6 nm pada 40 jam. Sedangkan kobalt dan nikel hanya mengalami perubahan kecil, yaitu dari 11 nm menjadi 10 nm dan nikel dari 25 nm 23 nm. Hal ini memperkuat kesimpulan di atas bahwa magnesium lebih getas dibandingkan dengan nikel dan kobalt.

Analisa SEM

Sedangkan hasil pengamatan dengan menggunakan SEM diperlihatkan pada Gambar 4.18. Dari ukuran awal serbuk magnesium -270 mesh, serbuk kobalt -400 mesh dan serbuk nikel $< 10 \mu\text{m}$ maka dapat diketahui bahwa butiran-butiran yang terbesar adalah magnesium dan yang paling kecil adalah nikel (Gb 4.11a). Setelah dimilling selama 10 jam (Gb 4.11b) serbuk mengalami proses pemipihan (\uparrow) karena terjebak diantara bola-bola sehingga terjadi pengerasan. Sebagian sampel mengalami proses selanjutnya yaitu orientasi penyatuan acak (*welding orientation*) (\downarrow) yakni fragmen-fragmen membentuk partikel-partikel *equaxed* kemudian disatukan dalam arah yang berbeda dan struktur lembaran mulai terdegradasi. Pada tahap selanjutnya pada proses pemaduan mekanik adalah bahan perlahan-lahan menghalus menjadi fragmen-fragmen dan terjadi penyatuan fragmen-fragmen tersebut (Gb 4.11c dan 4.11d). Pada tahap ini struktur kristal Mg telah rusak, ditandai dengan turunnya puncak-puncak Mg (Gb 4.6 dan 4.7) dan terbentuk fasa MgO.

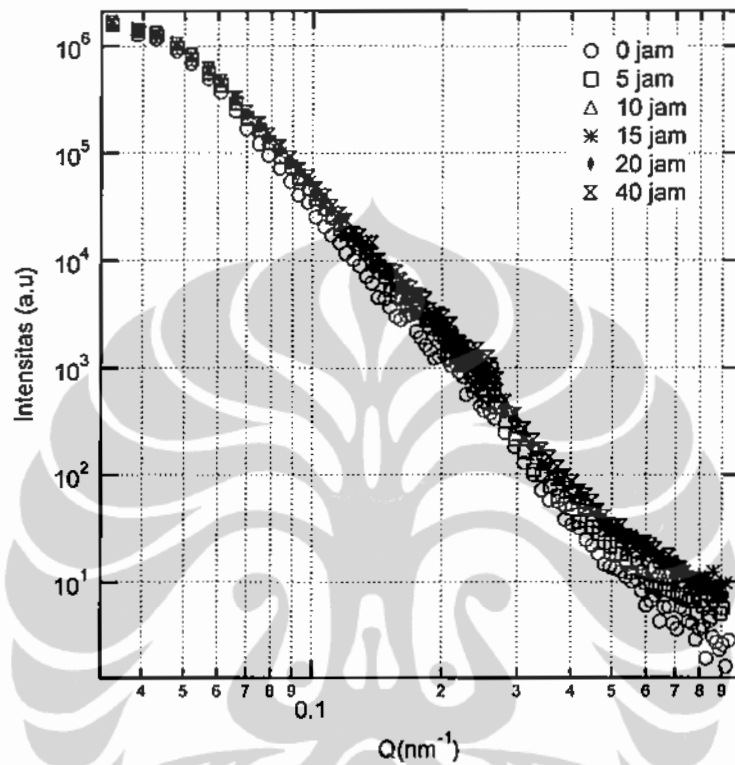


Gambar 4.18 Perubahan bentuk dan ukuran partikel paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 5(a), 10(b), 15(c) dan 20 jam (d).

Analisa SANS

Seperti telah dijelaskan pada Bab III sebelumnya, bahwa intensitas hamburan yang diperoleh dengan menggunakan SANS dipengaruhi oleh faktor bentuk partikel, struktur dan kontras dari bahan uji. Profil hasil pengamatan dengan menggunakan SANS diperlihatkan pada Gambar 4.19. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa intensitas seluruh sampel berkurang dengan bertambahnya Q dan memiliki kemiringan pangkat (*power law*) 4 yang mengindikasikan bahwa hamburan didominasi oleh permukaan Porod [40] sehingga luas permukaan suatu bahan dapat dihitung [45]. Sebaliknya, intensitas hamburan bertambah dengan bertambahnya waktu *milling*. Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan menjadi bertambah dengan bertambahnya waktu *milling*

atau ukuran butir semakin berkurang dengan bertambahnya waktu *milling*. Hasil pengamatan dengan SANS ini memperkuat hasil pengamatan dengan SEM.

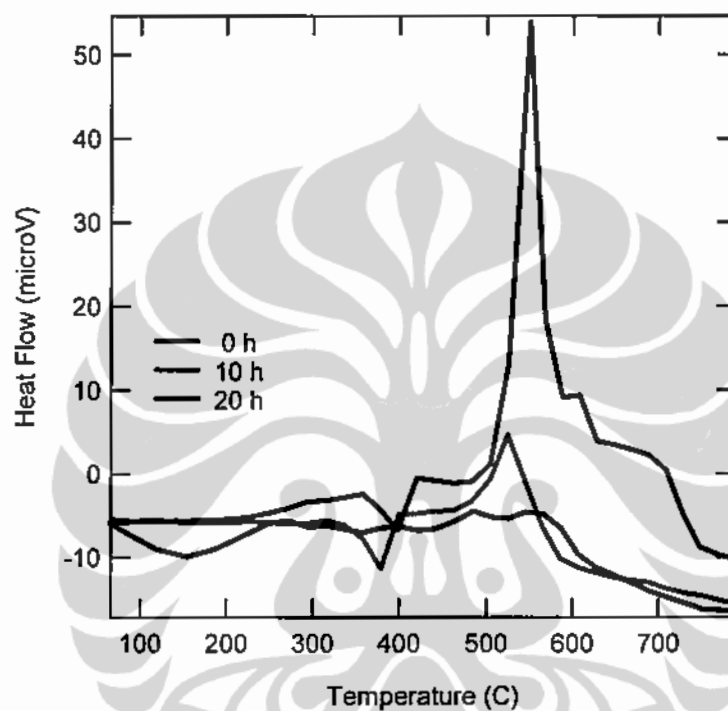


Gambar 4.19 Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 dengan rasio B/P=1

Analisa DTA

Hasil pengukuran dengan DTA diperlihatkan pada Gambar 4.20. Pada waktu *milling* 0 dan 10 jam tampak adanya puncak endotermik. Dari pengukuran dengan XRD di atas tampak bahwa masing-masing unsur belum mengalami perubahan struktur. Oleh karena itu puncak endotermik pada posisi sekitar $400\text{ }^\circ\text{C}$ merupakan temperatur perubahan fasa kobalt dari hcp menjadi fcc [18]. Sedangkan unsur-unsur lain tidak ada perubahan fasa. Puncak eksotermik kemungkinan temperatur reaksi $Mg \rightarrow MgO$. Pada waktu *milling* 20 jam tampak adanya puncak endotermik yang tidak tajam pada sekitar $150\text{ }^\circ\text{C}$. Ini kemungkinan terjadi penguapan air karena sampel bersifat higroskopik. Puncak endotermik di

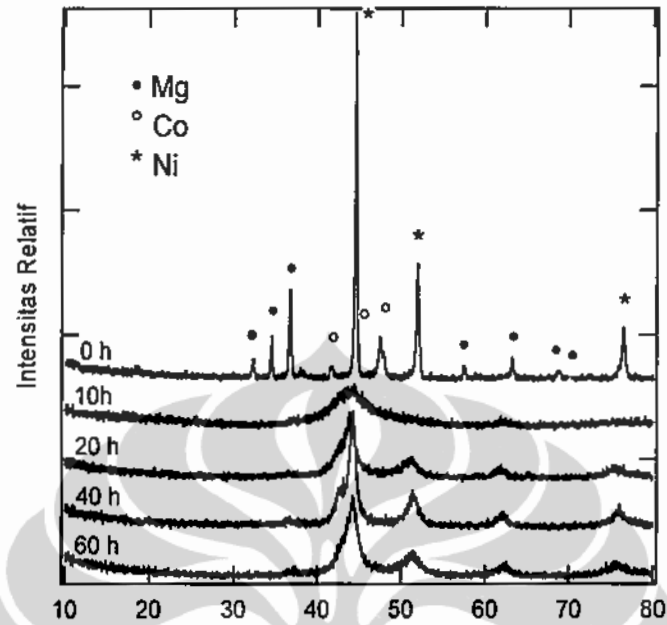
sekitar 400 °C tidak muncul lagi karena sampel sudah mengalami perubahan struktur seperti tampak pada pola XRD dimana puncak magnesium sudah mulai hilang. Perubahan pola DTA ini juga dapat menjelaskan adanya perubahan struktur pada sampel tersebut. Yakni menguatkan kesimpulan hasil pola difraksi di atas dimana terbentuk fasa baru MgO.



Gambar 4.20. Hasil pengukuran DTA pada paduan Mg_3CoNi_2

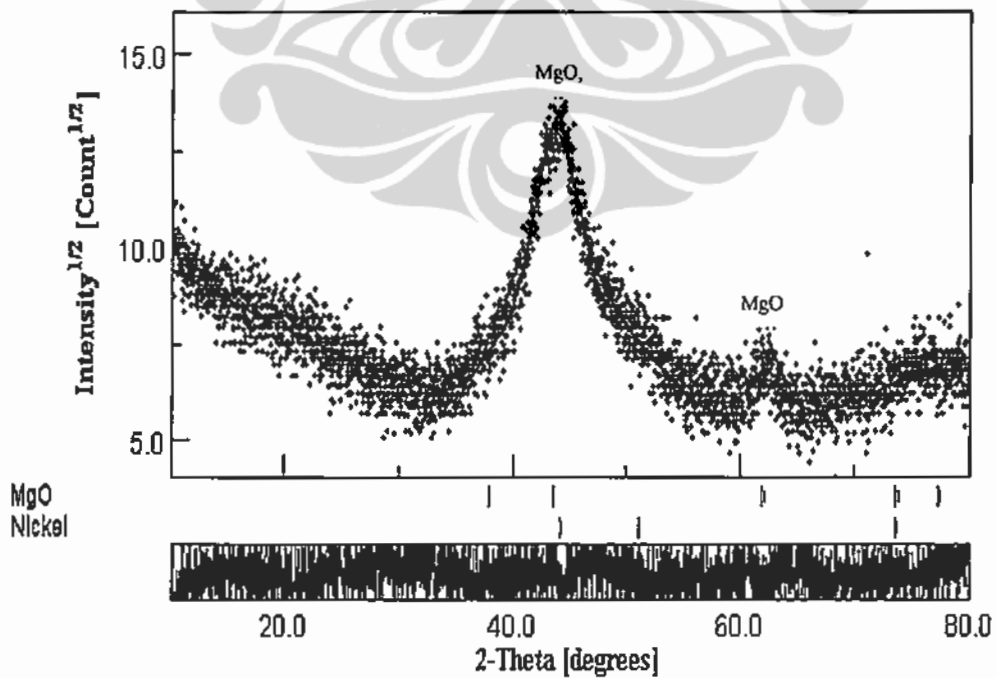
4.1.1.2 Rasio Berat Bola Terhadap Sampel 8:1

Hasil difraksi sinar-X pada paduan dengan rasio berat bola terhadap sampel 8:1 ditunjukkan pada Gambar 4.21. Pola difraksi yang puncaknya sangat lebar menandakan bahwa orientasi kristalnya sudah tidak teratur lagi atau menjadi amorf. Tetapi setelah *milling* 20 jam tampak adanya puncak-puncak baru yang menandakan adanya rekristalisasi.



Gambar 4.21. Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM)

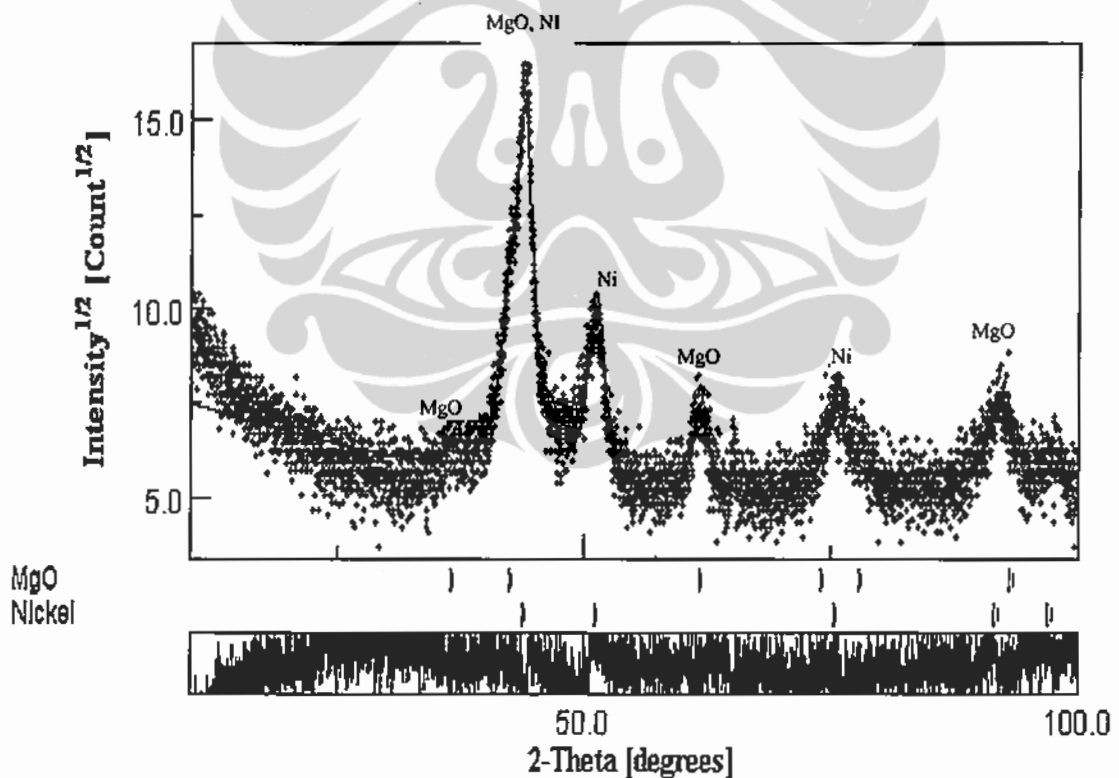
Hasil analisa difraksi sinar-x pada paduan setelah *dimilling* selama 10 jam dinerlihatkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 10 jam pada rasio B/S=8 (HEM)

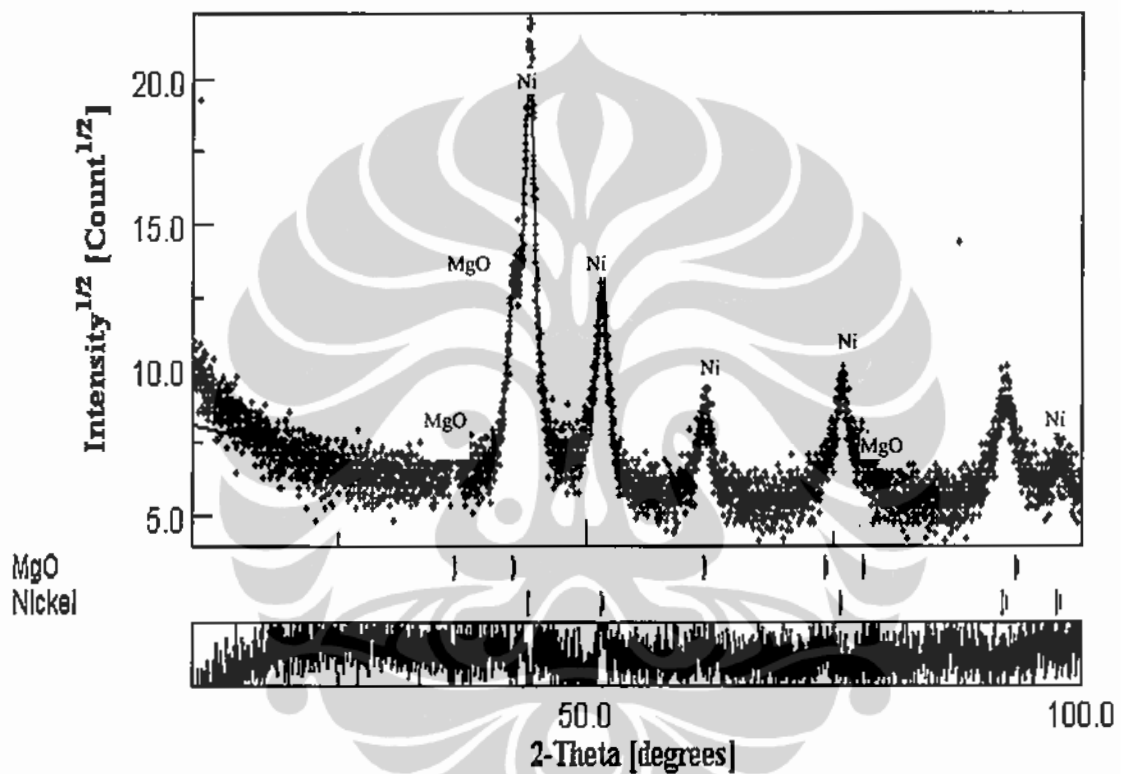
Hasil analisa menunjukkan hanya terdapat fasa Ni, dan MgO dengan fraksi volume berturut-turut sebesar 26,12 %, dan 73,88 %. Sedangkan fasa-fasa yang lain tidak muncul. Hal ini menunjukkan bahwa pada metode ini sangat mudah terjadi oksidasi karena energi tumbukan cukup besar sehingga ukuran partikel cepat menjadi lebih kecil dan ketika pengadukan oksigen menjadi lebih mudah masuk.

Hasil analisa difraksi sinar-x pada paduan setelah *dimilling* selama 20 jam diperlihatkan pada Gambar 4.23. Hasil analisa menunjukkan hanya terdapat fasa Ni, dan MgO dengan fraksi volume berturut-turut sebesar 30,08 %, dan 69,76 %. Jumlah nikel bertambah karena terjadi rekristalisasi akibat panas yang diterima terus menerus selama *milling*. Sementara energi rekristalisasi untuk kobalt belum tercukupi.



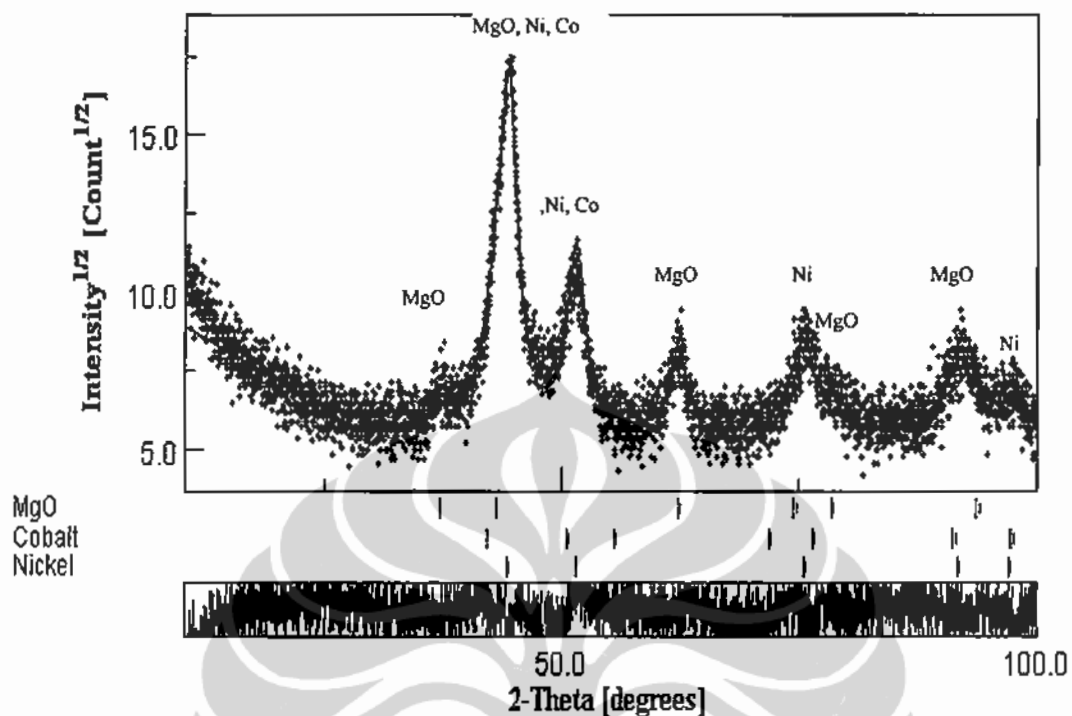
Gambar 4.23 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 20 jam pada rasio B/S=8 (HEM)

Hasil analisa difraksi sinar-x pada paduan setelah *dimilling* selama 40 jam diperlihatkan pada Gambar 4.24. Hasil analisa menunjukkan hanya terdapat fasa Ni, dan MgO dengan fraksi volume berturut-turut sebesar 43,42 %, dan 56,58 %. Jumlah nikel semakin bertambah karena terjadi rekristalisasi akibat panas yang diterima terus menerus selama *milling*.



Gambar 4.24 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 40 jam pada rasio B/S=8 (HEM)

Hasil analisa difraksi sinar-x pada paduan setelah *dimilling* selama 60 jam diperlihatkan pada Gambar 4.25. Hasil analisa menunjukkan hanya terdapat fasa Ni, Co dan MgO dengan fraksi volume berturut-turut sebesar 46,55 %, 7,72% dan 46,28 %. Fasa kobalt muncul setelah *milling* selama 60 jam.



Gambar 4.25 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 60 jam pada rasio B/S=8 (HEM)

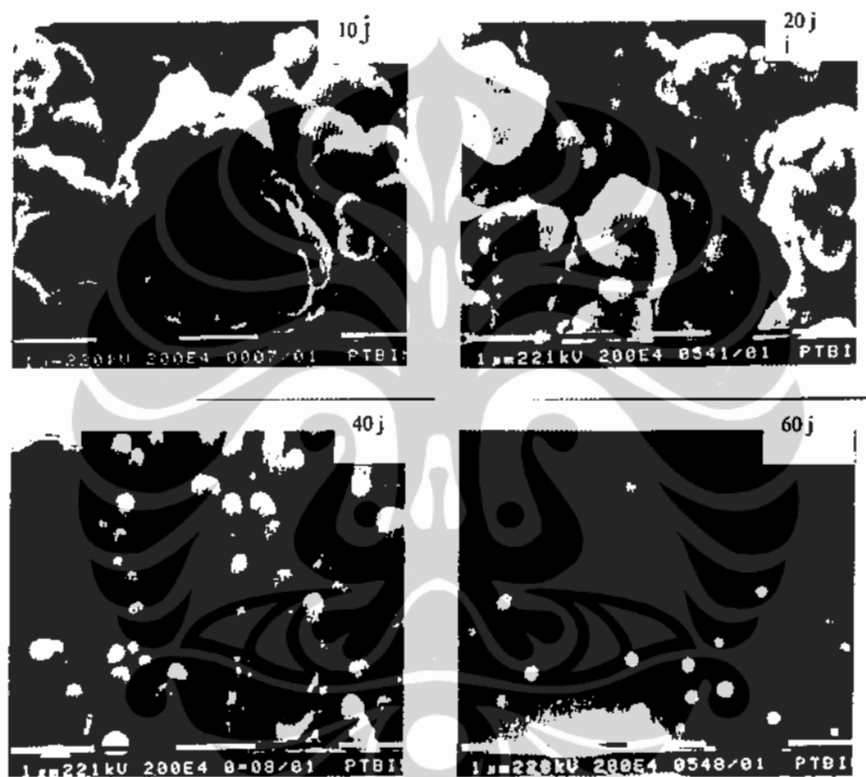
Data kualitas *refinement* dari berbagai waktu *milling* diperlihatkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3. Data kualitas *refinement* pola difraksi sinar-X dari Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM)

Waktu milling (jam)	S	Rw (%)
10	1,1005	14,2704
20	1,3417	20,0198
40	1,2978	17,7610
60	1,1988	13,3526

Analisa SEM

Hasil pengamatan dengan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan ukuran partikel diperlihatkan pada Tabel 4.4 berikut. Ukuran partikel paduan yang *dimilling* selama 60 jam menjadi 75~200 nm. Ukuran yang tidak merata ini karena pendispersian dengan menggunakan toluen kurang sempurna.



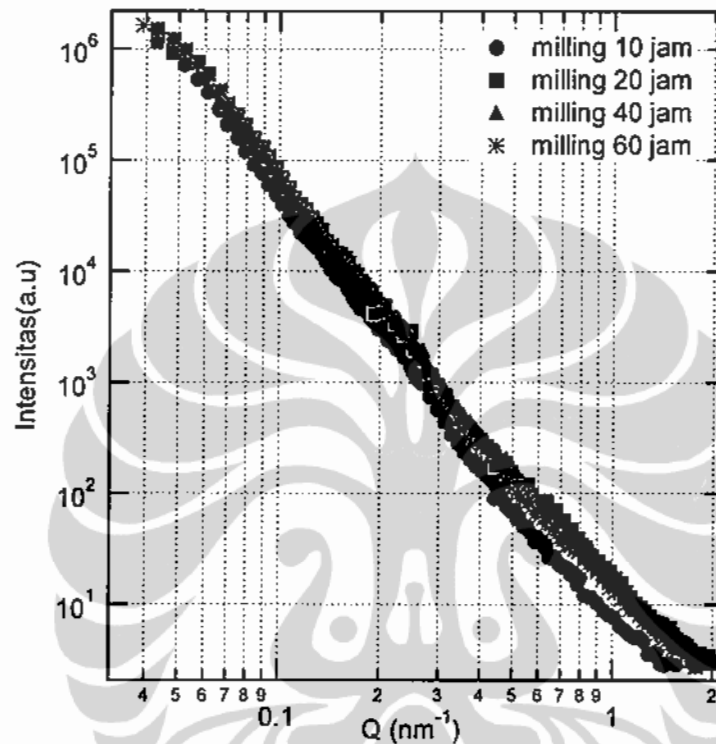
Gambar 4.26. Perubahan ukuran partikel setelah *milling* paduan Mg_3CoNi_2 pada Rasio B/S=8 (HEM)

Tabel 4.4. Ukuran partikel hasil pengamatan SEM dengan berbagai waktu *milling*

o	Waktu milling (jam)	Ukuran partikel (nm)
1	10	900
2	20	550
3	40	150 ~ 250
4	60	75 ~ 200

Analisa SANS

Profil hasil pengamatan dengan menggunakan SANS ditunjukkan pada Gambar 4.27.



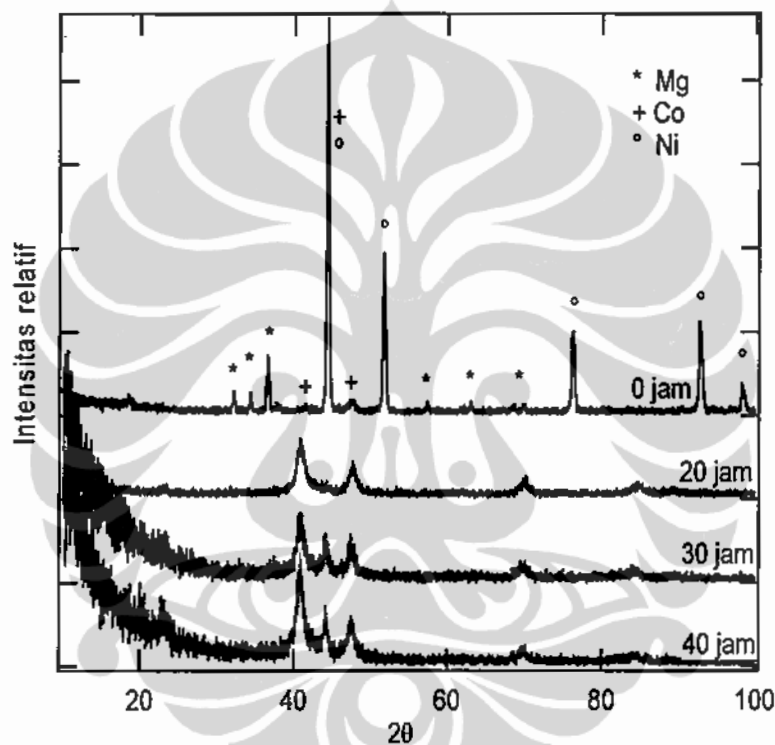
Gambar 4.27 Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 pada rasio B/S=8 (HEM)

Profil SANS pada rasio B/S=8 mirip dengan profil pada rasio B/P=1. Intensitas seluruh sampel berkurang dengan bertambahnya Q dan memiliki kemiringan pangkat (*power law*) 4 yang mengindikasikan bahwa hamburan didominasi oleh permukaan Porod. Intensitas hamburan sedikit bertambah dengan bertambahnya waktu *milling*, yang berarti bahwa luas permukaan menjadi bertambah dengan bertambahnya waktu *milling* atau ukuran butir semakin berkurang dengan bertambahnya waktu *milling*. Hasil pengamatan dengan SANS ini memperkuat juga hasil pengamatan dengan SEM.

4.2 PEMADUAN MEKANIK BASAH

Pada paduan mekanik basah ini dipergunakan rasio berat bola terhadap sampel sebesar 8:1 karena berdasarkan pengalaman pada pembuatan paduan dengan metode paduan mekanik kering rasio inilah yang paling optimal.

Pola difraksi sinar-X paduan mekanik basah ini diperlihatkan pada Gambar 4.28.

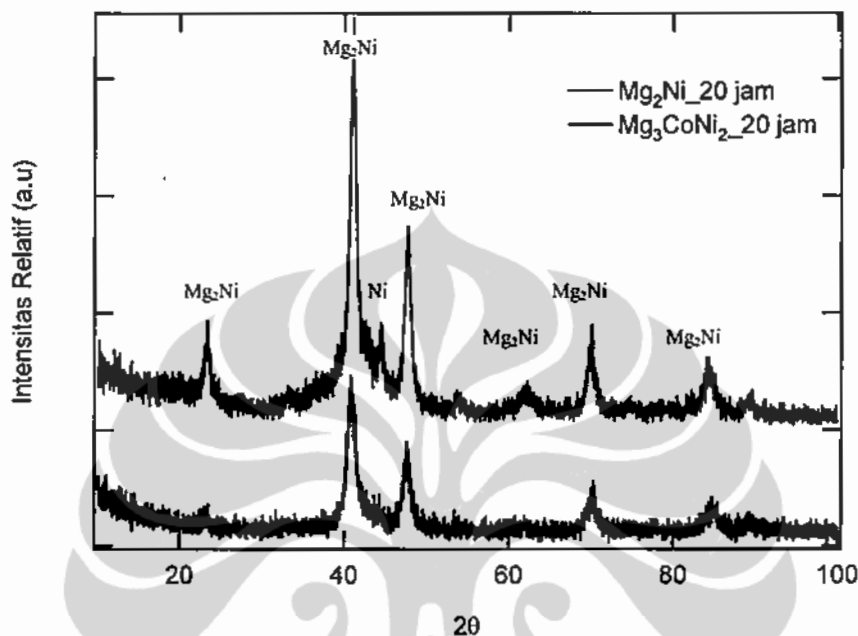


Gambar 4.28. Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan paduan mekanik basah menggunakan HEM

Dari gambar pola difraksi sinar-X diatas dapat diketahui bahwa fasa-fasa awal yaitu magnesium, nikel dan kobalt sudah tidak tampak lagi. Hal ini menandakan bahwa telah terjadi paduan antara unsur-unsur awal. Adapun fasa-fasa yang terbentuk dan jumlahnya dapat diketahui dari hasil analisa berikut.

Gambar 4.29 adalah pola difraksi sinar-X Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 20 jam dan paduan Mg_2Ni yang dibuat dengan metode yang sama, yaitu paduan mekanik basah [47]. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa Pola difraksi sinar-X antara Mg_2Ni dan Mg_3CoNi_2 menunjukkan adanya

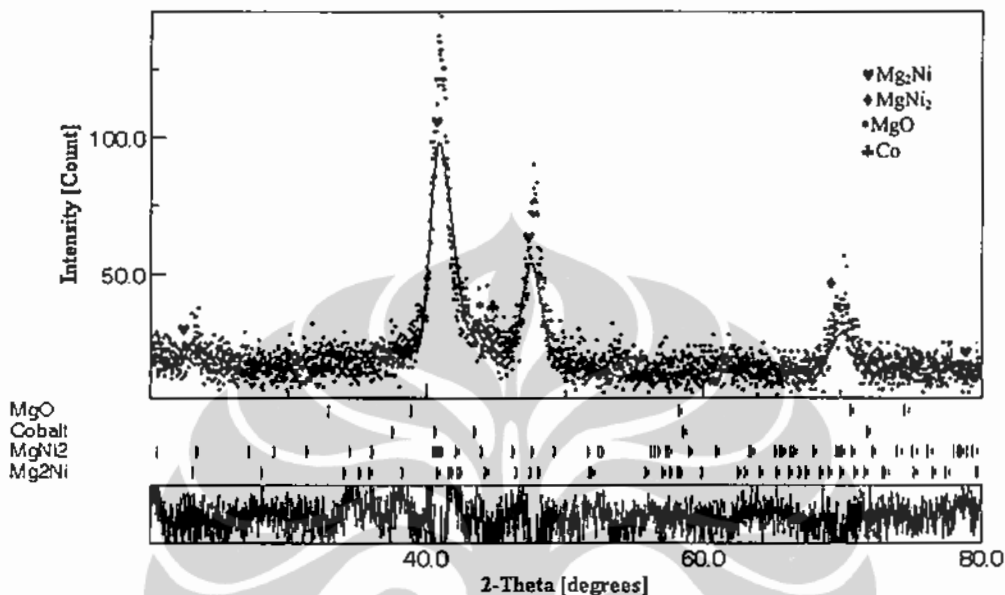
persamaan. Dari hasil analisa difraksi sinar-X di bawah ini, dugaan adanya persamaan fasa-fasa yang terbentuk pada paduan Mg_3CoNi_2 mengokohkan dugaan ini.



Gambar 4.29. Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 dan Mg_2Ni yang *dimilling* selama 20 jam

Hasil analisa Gambar 4.30 diketahui bahwa fasa yang terbentuk adalah Mg_2Ni dan $MgNi_2$ dengan fraksi volume berturut-turut sebesar 67,16 % dan 31,71 %. Fasa lain seperti Mg_2Co , $MgCo_2$ dan $MgCoNi$, ketika diindeks sangat kecil sekali jumlahnya sehingga dapat diabaikan. Tidak terbentuknya fasa Mg_2Co , $MgCo_2$ dan $MgCoNi$ ini seperti yang dilaporkan oleh I Gonzalez Fernandez dkk [17], dikarenakan energi pembentukan fasa-fasa ini lebih besar dari pada yang diperlukan untuk pembentukan fasa Mg_2Ni dan $MgNi_2$. Dalam pembuatan fasa Mg-Co I Gonzalez Fernandez dkk menggunakan rasio berat bola terhadap sampel sebesar 44:1 dan waktu *milling* selama 200 jam. Selain itu, fasa Co juga tidak muncul pada analisa difraksi sinar-X tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi substitusi sebagian Ni dengan Co di dalam fasa Mg_2Ni dan $MgNi_2$. Tabel 4.5 menunjukkan perubahan parameter kisi pada $Mg_2Ni_{0.95}Co_{0.05}$, $Mg_2Ni_{0.9}Co_{0.1}$ [16] dan Mg_3Ni_2Co dari hasil perhitungan XRD. Semakin besar

jumlah Co maka parameter kisi semakin berkurang. Hal ini juga menunjukkan bahwa terjadi substitusi Co pada posisi Ni di dalam fasa Mg_2Ni dan $MgNi_2$ dikarenakan radius atom kobalt lebih kecil dari pada atom nikel.

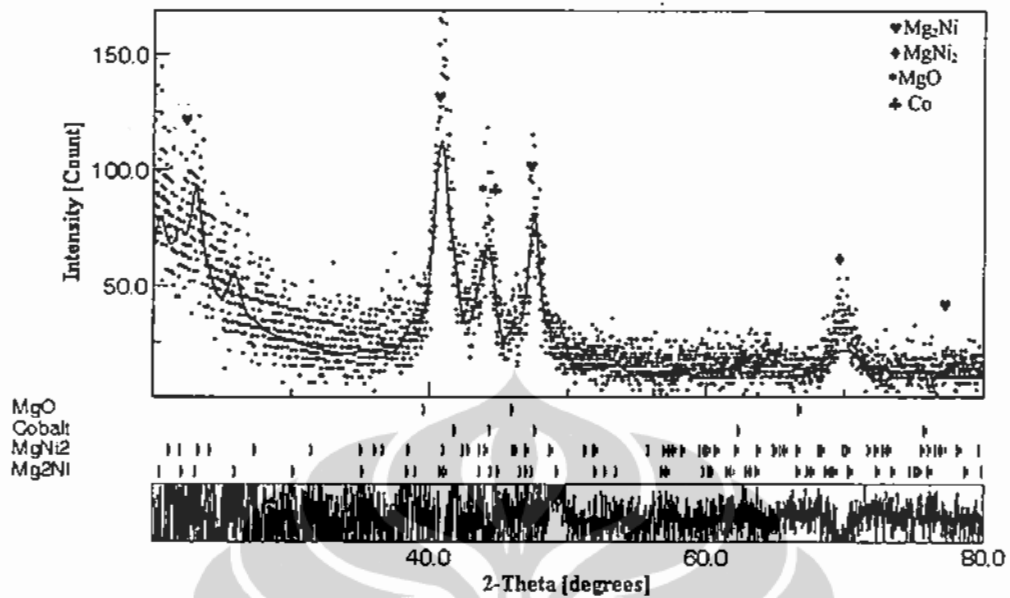


Gambar 4.30 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, *milling* 20 jam

Tabel 4.5 Parameter kisi dari beberapa sampel yang diperoleh dari perhitungan data XRD

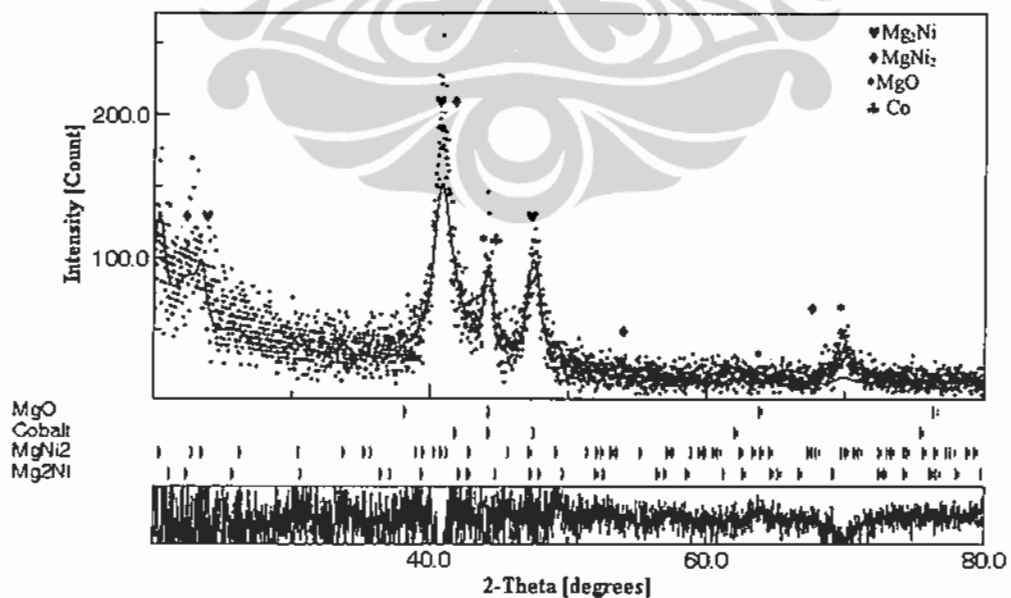
Sampel	a (Å)	c (Å)	Keterangan
Mg_2Ni	5.22	13.29	
$Mg_2Ni_{0.95}Co_{0.05}$	5.17	13.10	L.Xie dkk [16]
$Mg_2Ni_{0.9}Co_{0.1}$	5.11	12.88	L.Xie dkk [16]
Mg_3Ni_2Co	4.59	11.72	Andon

Gambar 4.31 merupakan hasil analisis difraksi sinar-x sampel yang *dimilling* selama 30 jam. Proporsi dan jenis fasa yang terbentuk pada sampel ini mengalami perubahan. Berturut-turut fraksi volume yang terjadi dari Mg_2Ni , $MgNi_2$ dan Co adalah 72,20 %, 19,94 % dan 7,52 %. Fasa Co muncul karena sebagian Co keluar dari posisi Ni karena kurang stabil dibanding dengan Ni sendiri. Akibat keluarnya Co dari Mg_2Ni maka terjadi perubahan parameter kisi dari 4,59 menjadi 4,9 Å dan dari 11,72 menjadi 13,22Å.



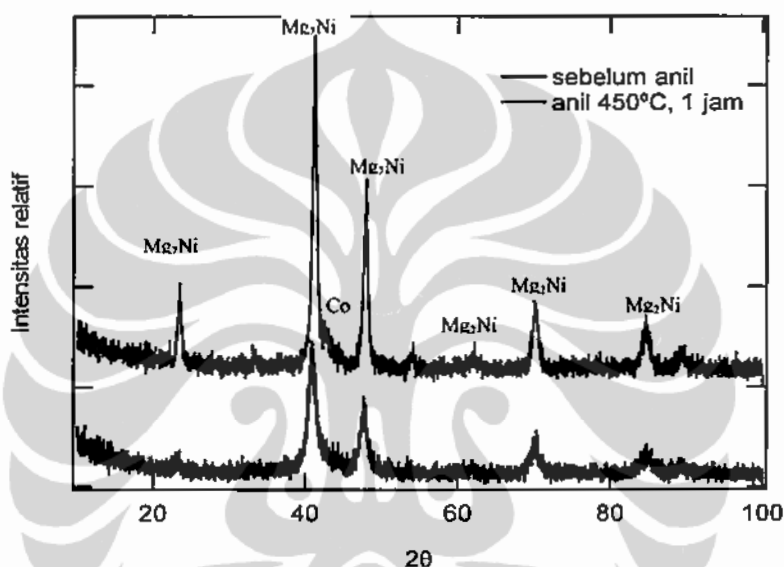
Gambar 4.31 Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, *milling* 30 jam

Sedangkan hasil analisa difraksi sinar-X pada paduan yang dimilling selama 40 jam ditunjukkan pada Gambar 4.32. Fraksi volume dari Mg_2Ni , $MgNi_2$ dan Co adalah 79,36 %, 11,39 % dan 9.24 %.

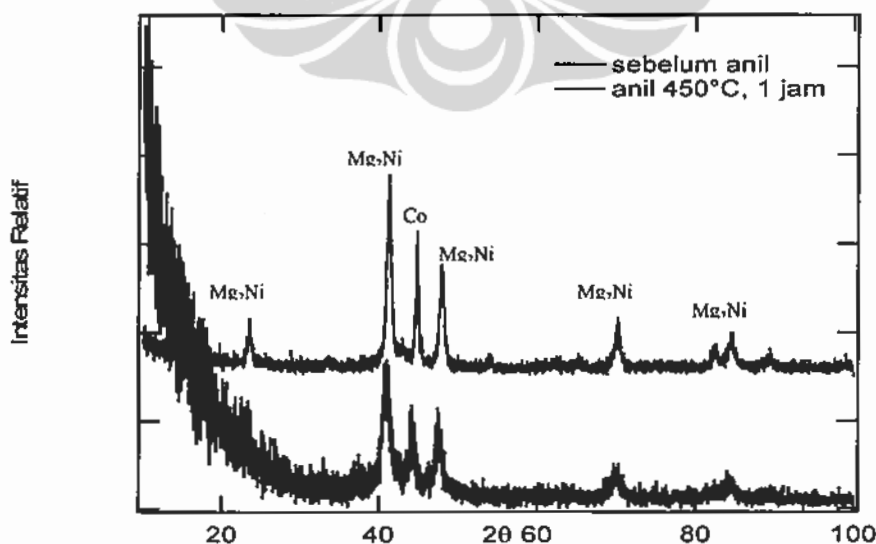


Gambar 4.32. Hasil analisa difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah, *milling* 40 jam

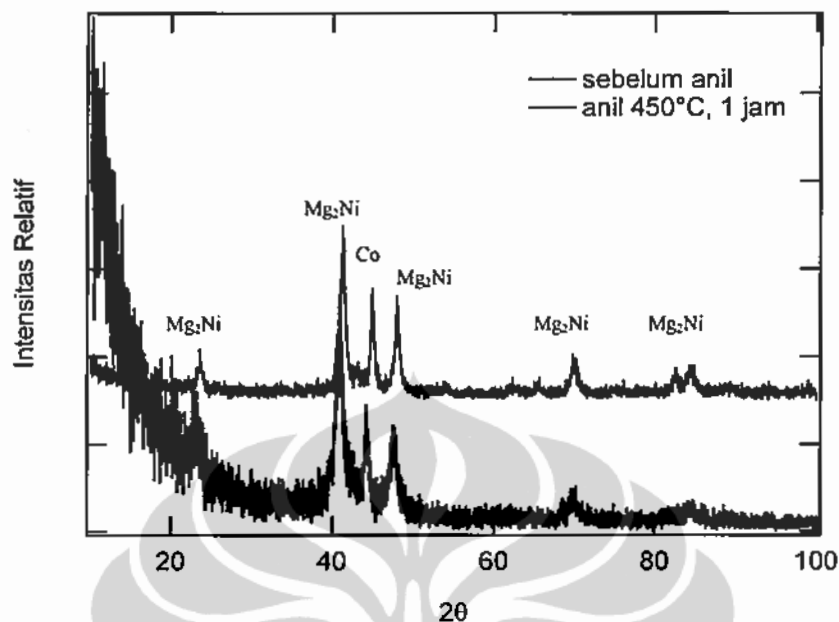
Dari hasil analisa DTA (Gb. 4.20) maka sampel kemudian dianil pada temperatur 450°C selama 1 jam untuk rekristalisasi karena fasa yang terbentuk selama *milling* merupakan campuran amorf dan kristal. Pola difraksi sinar-X paduan Mg_3CoNi_2 setelah dianil ditunjukkan Gambar 4.33 a, b dan c. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa setelah anil terjadi penajaman puncak-puncak difraksi tanpa adanya puncak baru. Hal ini menambahkan keyakinan bahwa pada proses *milling* paduan Mg_3CoNi_2 fasa yang terbentuk didominasi oleh Mg_2Ni .



Gambar 4.33 a. Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling 20 jam



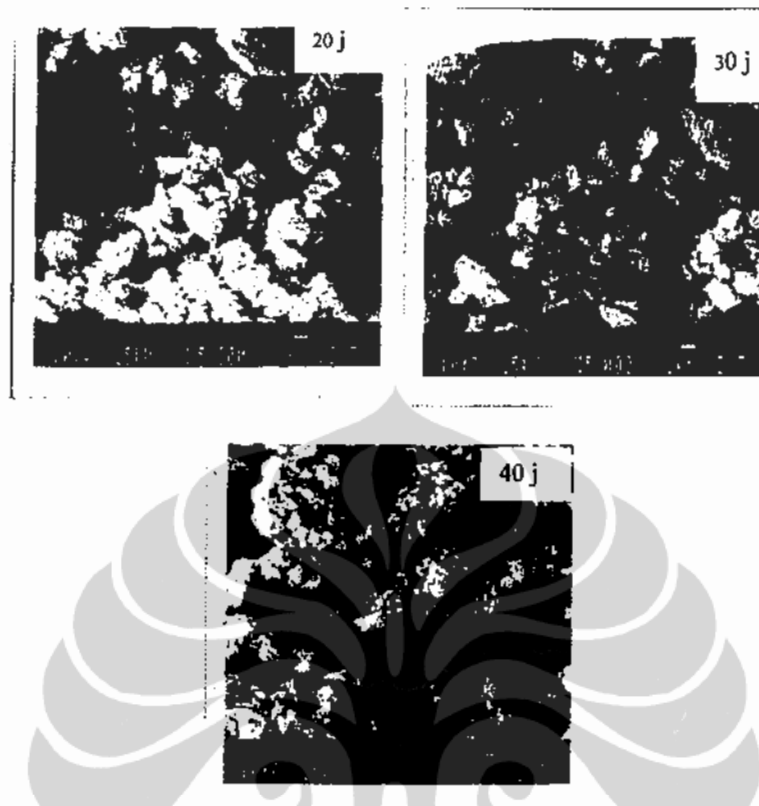
Gambar 4.33 b. Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling 30 jam



Gambar 4.33 c. Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah anil paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling 40 jam

Analisa SEM

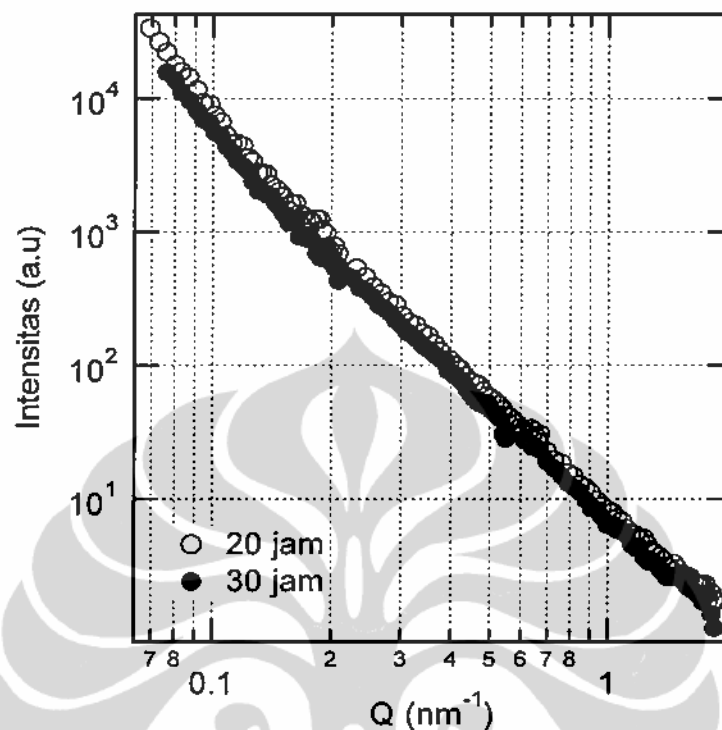
Perubahan bentuk dan ukuran partikel paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah pada berbagai waktu *milling* ditunjukkan Gambar 4.34. Dari sisi bentuk partikel, serbuk telah mengalami pemipihan selama proses *milling* tetapi dari sisi usuran partikel tidak banyak mengalami perubahan terutama sampel yang *dimilling* selama 20 dan 30 jam. Pada sampel yang *dimilling* selama 40 jam ukuran partikelnya menjadi lebih halus dan terjadi aglomerasi karena logam nikel dan kobalt memiliki sifat magnetik.



Gambar 4.34. Perubahan bentuk dan ukuran partikel paduan Mg_3CoNi_2 yang dibuat dengan pemaduan mekanik basah pada berbagai waktu *milling*

Analisa SANS

Hasil pengamatan dengan menggunakan SANS ditunjukkan pada Gambar 4.35. Profil ini memiliki kemiringan yang sama dengan pembuatan sampel rasio 1:1 maupun 8:1 pada pemaduan mekanik kering di atas, yakni sebesar pangkat 4. Tetapi intensitas sampel yang dimilling selama 20 jam dan 30 jam hampir sama. Hasil ini menguatkan hasil pengamatan dengan SEM (Gb 4.33) dimana ukuran partikelnya hampir sama.



Gambar 4.35 Profil SANS paduan Mg_3CoNi_2 pada paduan mekanik basah

4.3 PEMBAHASAN

Pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 dengan metode mekanik kering mempunyai kelemahan, yaitu mudah terbentuk magnesium oksida bahkan pada energi yang lebih besar (dengan rasio B/S = 8) terbentuknya oksida ini lebih cepat dan lebih banyak dibandingkan dengan rasio B/S = 1. Oleh karena itu metode paduan mekanik basah merupakan salah satu cara untuk menghindari oksidasi magnesium. Walaupun pada waktu *milling* yang lebih lama, yaitu 30 dan 40 jam oksida ini muncul kembali tetapi dalam jumlah yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode mekanik kering.

Fasa-fasa yang terbentuk pada pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 ini adalah fasa Mg_2Ni dan fasa $MgNi_2$. Fasa lain yang mungkin dari bahan dasar Mg, Co dan Ni adalah Mg_2Co , $MgCo_2$, $Mg_3Co_2Ni_4$ dan $MgCoNi$ tidak terbentuk dikarenakan

mekanisme dan energi yang diperlukan berbeda dengan pembentukan fasa Mg_2Ni dan fasa $MgNi_2$. Walaupun begitu fasa Mg_2Ni yang merupakan fasa yang mampu menyerap hidrogen ini memiliki parameter kisi yang lebih kecil (Tabel 4.6) dari fasa Mg_2Ni murni karena adanya substitusi Co pada posisi Ni. Pada perlakuan anil menguatkan dominasi fasa Mg_2Ni ini.



BAB V

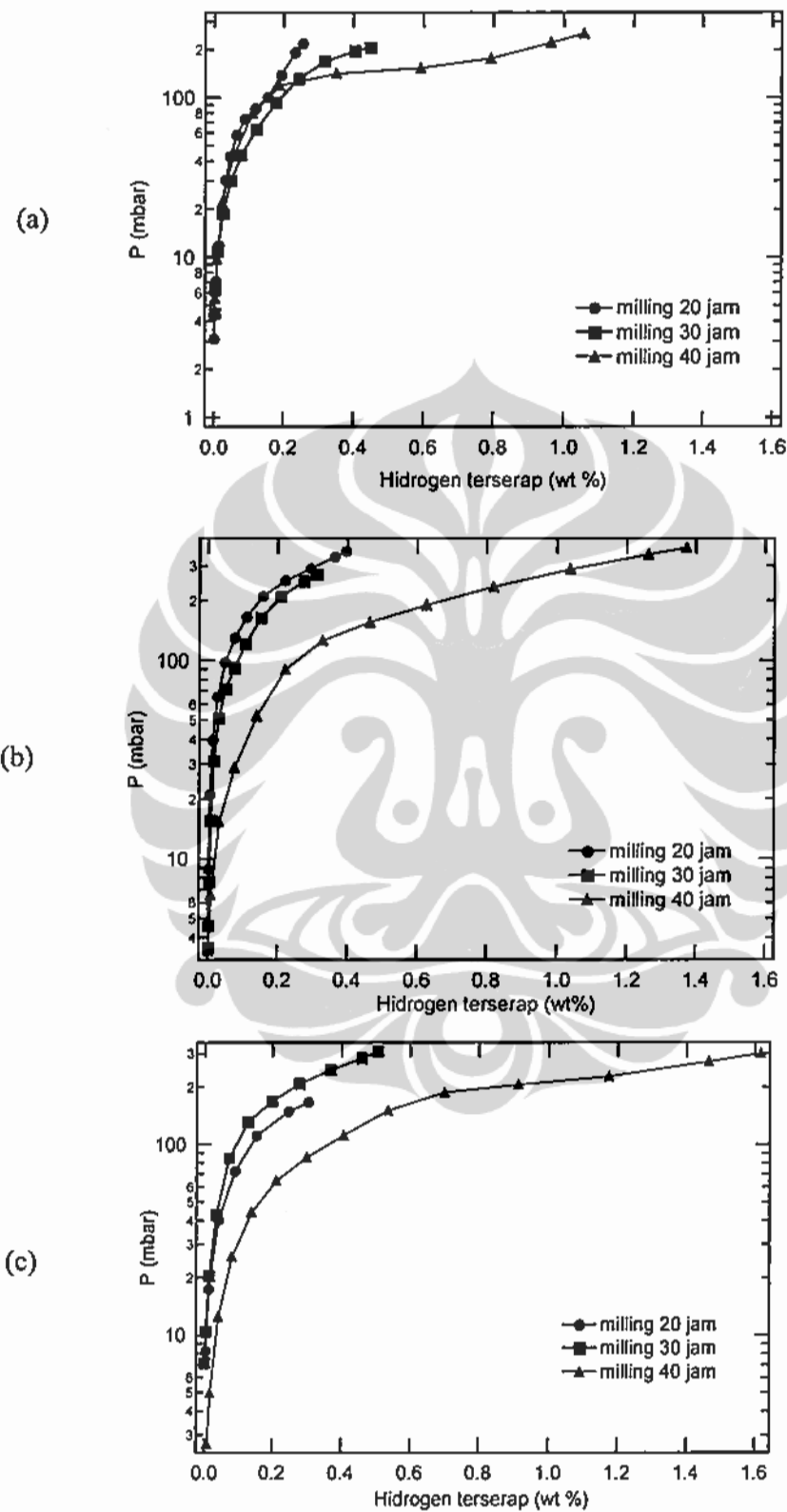
HASIL UJI KAPASITAS HIDROGEN

Hidriding adalah proses memasukkan hidrogen ke dalam material. Pada penelitian ini hidriding dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas penyerapan hidrogen pada paduan Mg_3CoNi_2 . Hidriding hanya dilakukan pada sampel yang dibuat dengan pepaduan mekanik basah karena mengandung magnesium oksida yang rendah.

5.1. PENGARUH WAKTU *MILLING* TERHADAP KAPASITAS PENYERAPAN HIDROGEN

Hasil hidriding paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* dalam selama 20, 30 dan 40 jam pada temperatur 200°C, 250°C dan 300 °C ditunjukkan Gambar 5.1. Hidriding dilakukan selama 300 detik. Pada Gambar 5.1 terlihat bahwa paduan yang *dimilling* selama 40 jam memiliki kemampuan menyerap hidrogen paling banyak dibandingkan dengan paduan yang *dimilling* selama 20 dan 30 jam. Jumlah hidrogen yang dapat diserap oleh sampel yang *dimilling* selama 20, 30 dan 40 jam pada temperatur 200°C, 250°C dan 300 °C dirangkum pada Tabel 5.1. Selain sampel yang *dimilling* selama 20 jam dan dihidridng pada temperatur 250°C semua sampel memiliki tren yang sama yaitu semakin lama *dimilling* kemampuan penyerapan hidrogen semakin banyak dan semakin tinggi temperatur hidriding, hidrogen yang dapat diserap juga semakin banyak.

Sampel yang *dimilling* lebih lama memiliki kapasitas penyerapan hidrogen yang lebih besar dari pada yang lain dikarenakan paduan ini memiliki ukuran partikel yang lebih kecil seperti diperlihatkan pada gambar SEM di atas. (Gb. 4.33). Sampel yang memiliki ukuran partikel kecil berarti luas permukaannya lebih besar sehingga hidrogen yang masuk ke dalam paduan melalui permukaan partikel memiliki kesempatan lebih banyak dalam waktu yang sama. Sedangkan hidriding pada temperatur yang lebih tinggi dapat menyerap hidrogen lebih banyak karena pada temperatur yang lebih tinggi posisi antar atom merenggang.



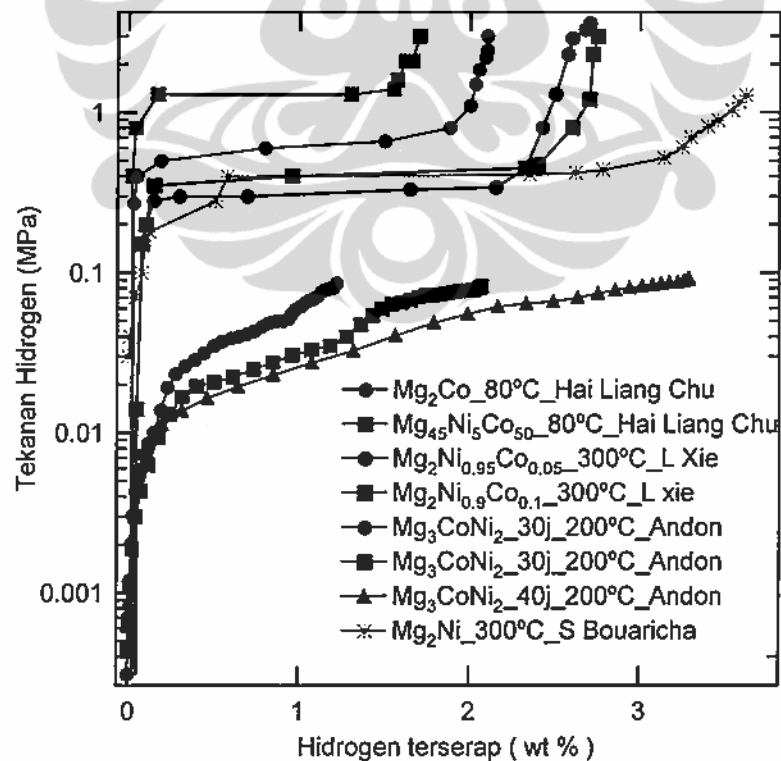
Gambar 5.1 Penyerapan hidrogen pada paduan Mg_3CoNi_2 pada temperatur $200^\circ C$ (a), $250^\circ C$ (b) dan $300^\circ C$ (c) selama 300 detik

Tabel 5.1 Jumlah hidrogen yang diserap selama 300 detik pada temperatur 200°C, 250°C dan 300 °C dalam wt %

Lama milling	Temperatur 200°C	Temperatur 250°C	Temperatur 300°C
20 jam	0,2774	0,4277	0,3786
30 jam	0,4991	0,5455	0,5521
40 jam	1,1623	1,4817	1,7698

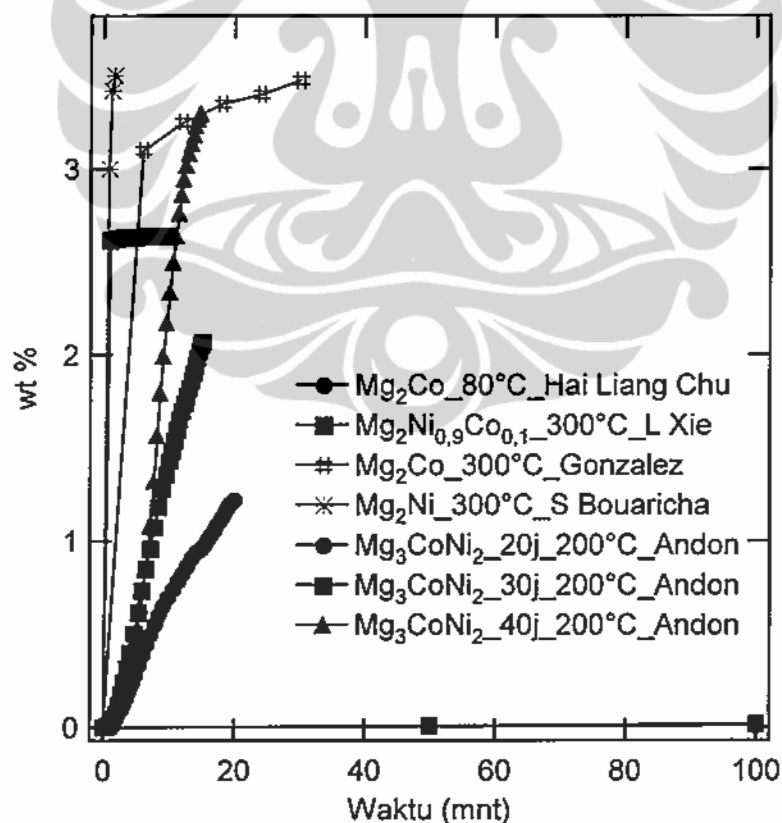
Tetapi kejenuhan larutan hidrogen yang dihidriding pada temperatur tinggi akan cepat terjadi sehingga panjang plato semakin pendek karena hidriding merupakan reaksi eksotermik.

Perbandingan kapasitas penyerapan dari beberapa peneliti ditunjukkan Gambar 5.2. Hasil kapasitas penyerapan pada penelitian ini melebihi pencapaian L.Xie dkk [16] pada paduan $Mg_2Ni_{0.95}Co_{0.05}$ dan $Mg_2Ni_{0.9}Co_{0.1}$ tetapi waktu dipergunakan dua kali lipat. Jika L.Xie dkk mampu mencapai 2,7 wt % selama 10 menit maka penulis memerlukan waktu 20 menit. (Gambar 5.3).



Gambar 5.2 Perbandingan kapasitas penyerapan hidrogen pada paduan magnesium

Perbedaan ini disebabkan L.Xie dkk dalam pembuatan sampelnya menggunakan metode Hydrogen Plasma Metal Reaction (HPMR) sehingga dihasilkan partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan metode pemaduan mekanik atau *Mechanical Alloying*. Sedangkan pada $Mg_{45}Ni_5Co_{50}$ yang dibuat Hai-Liang Chu dkk [15] mampu menyerap hidrogen sebesar 2.0 wt% pada temperatur 353K (80°C) dan tekanan 0~ 3 Mpa selama 4500 menit. Metode pembuatan sampel yang digunakan adalah pemaduan mekanik selama 80 jam dengan rasio berat bola terhadap sampel 20:1. Sedangkan penelitian S.Bouaricha dkk [48] menunjukkan bahwa Mg_2Ni mampu secara maksimal menyerap hidrogen, yaitu mencapai 3,6 wt % dengan kecepatan penyerapan hampir sama dengan hasil penelitian L Xie. Mg_2Ni yang digunakan pada penelitian S Bouaricha merupakan Mg_2Ni murni yang *dimilling* selama 40 jam sehingga semua bahan secara optimal dapat menyerap hidrogen.



Gambar 5.3 Perbandingan kecepatan penyerapan hidrogen pada paduan magnesium

Kapasitas penyerapan hidrogen selain dipengaruhi oleh struktur kristal dari bahan juga dipengaruhi oleh tekanan gas, sebagaimana persamaan (5.1):

$$c_H = kp^{1/2} \quad (5.1)$$

dimana c_H = konsentrasi H di dalam bahan

k = konstanta penyerapan

p = tekanan gas

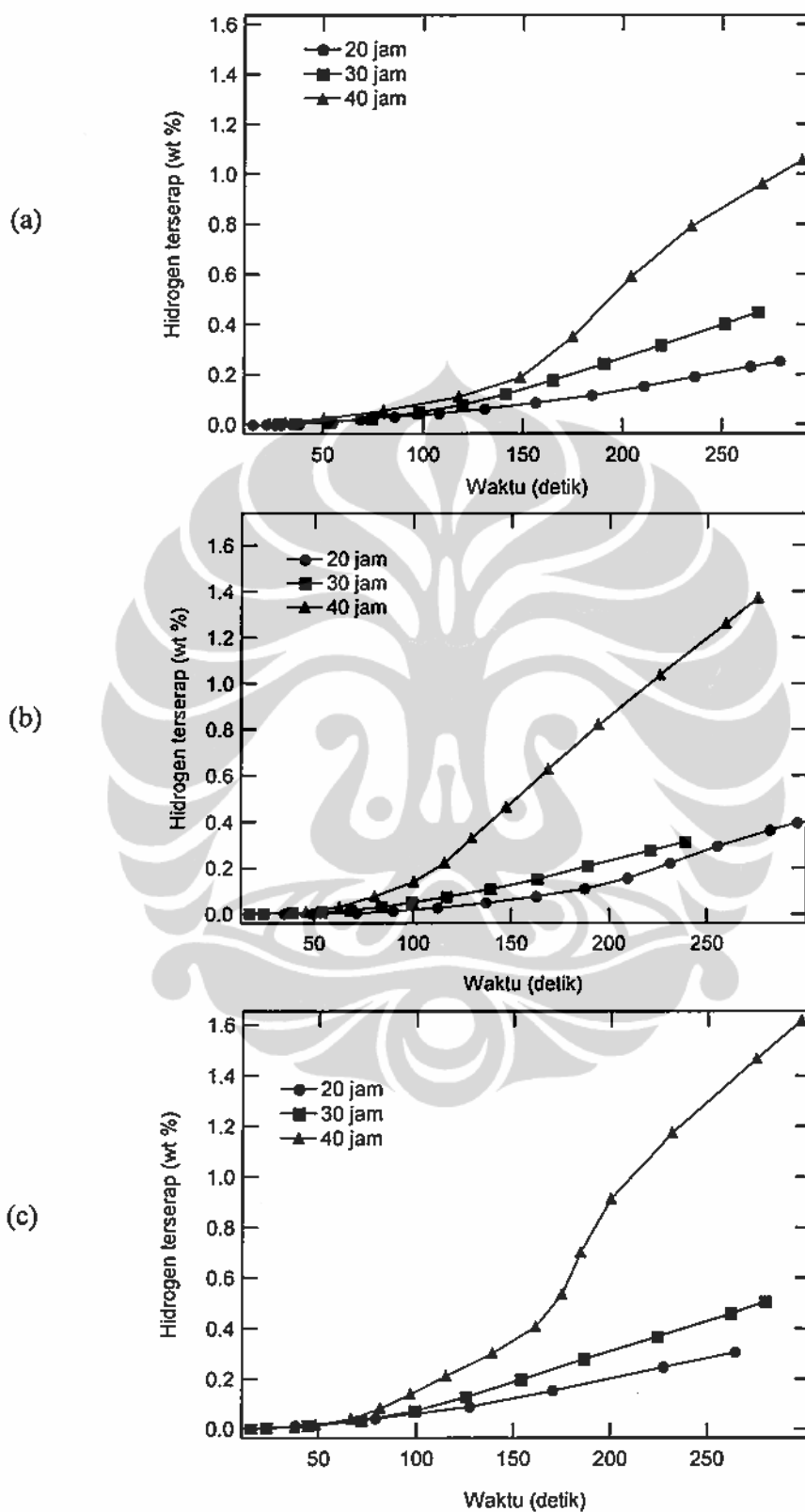
Sehingga konsentrasi hidrogen yang dapat diserap akan semakin besar dengan bertambahnya tekanan gas yang diberikan.

Perbandingan kapasitas penyerapan dari beberapa peneliti tentang paduan Mg-Co-Ni dan kondisi penelitian ditunjukkan Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perbandingan kapasitas penyerapan hidrogen dari beberapa peneliti

Sampel	Kapasitas (wt%)	Temperatur (°C)	Tekanan (Mpa)	Waktu (menit)	Keterangan
Mg ₂ Ni _{0.95} Co _{0.05}	2,67	300	40	10	L.Xie dkk [16]
Mg ₂ Ni _{0.9} Co _{0.1}	2,67	300	40	10	L.Xie dkk [16]
Mg ₄₅ Ni ₅ Co ₅₀	1,7	80	0~3	4500	H.L.Chu dkk [15]
Mg ₂ Co	3,5	425	5~9	30	I.Gonzalez [17]
Mg ₂ Ni	3,6	300	0~1,3	5	S.Bouaricha [48]
Mg ₃ Ni ₂ Co	3,3	200	0~0,1	15	Andon [49]

Pengukuran waktu masuknya gas hidrogen ke dalam sampel diperlihatkan pada Gambar 5.4. Pada awal hidriding penyerapan hidrogen sangat lamban karena diperlukan aktivasi. Selain itu pada awal penyerapan, perlu adanya pemecahan lapisan oksida (MgO) yang terbentuk di permukaan. Sampel yang *dimilling* selama 40 jam menunjukkan kecepatan penyerapan hidrogen yang paling baik dibandingkan dengan sampel yang lain. Hal ini karena ukuran partikel semakin kecil dengan bertambahnya waktu *milling* sehingga luas permukaan yang dapat menyerap hidrogen semakin besar.



Gambar 5.4 Pengaruh waktu *milling* terhadap waktu penyerapan hidrogen Pada temperatur (a) 200°C, (b) 250°C dan (c) 300°C selama 300 detik

Selain luas permukaan bahan, kecepatan penyerapan hidrogen juga dipengaruhi oleh temperatur bahan ketika proses penyerapan dilakukan. Telah diketahui bahwa reaksi antara hidrogen dan logam merupakan reaksi eksotermik sehingga dengan adanya panas akan memudahkan hidrogen terlepas dari logam, terutama pada fasa β dimana hidrogen terserap sudah mengalami kejenuhan. Walaupun demikian pada temperatur tertentu proses penyerapan baru terjadi. Hal ini karena hidrogen dapat terserap dengan lebih mudah pada bahan yang mengalami pemuaiannya akibat adanya panas. Pengaruh temperatur terhadap penyerapan hidrogen ditunjukkan pada Gambar 5.5. Tampak pada gambar bahwa penyerapan hidrogen pada temperatur yang lebih rendah memiliki trend terjadi kesetimbangan tekanan yang lebih rendah pula. Hal ini karena penyerapan hidrogen merupakan reaksi eksotermik sehingga pada temperatur yang lebih tinggi diperlukan tekanan yang lebih tinggi pula untuk mempertahankan hidrogen yang ada di dalam bahan. Demikian pula, bahan yang *dimilling* lebih lama mampu menyerap hidrogen lebih banyak. Dengan memplot $\ln P$ vs $1/T$ dan menggunakan persamaan van't Hoff (5.2) berikut akan diperoleh perubahan entalpi dan entropi :

$$\ln\left(\frac{P}{p_0}\right) = \frac{\Delta H}{RT} - \frac{\Delta S}{R} \quad (5.2)$$

Dimana P = tekanan kesetimbangan

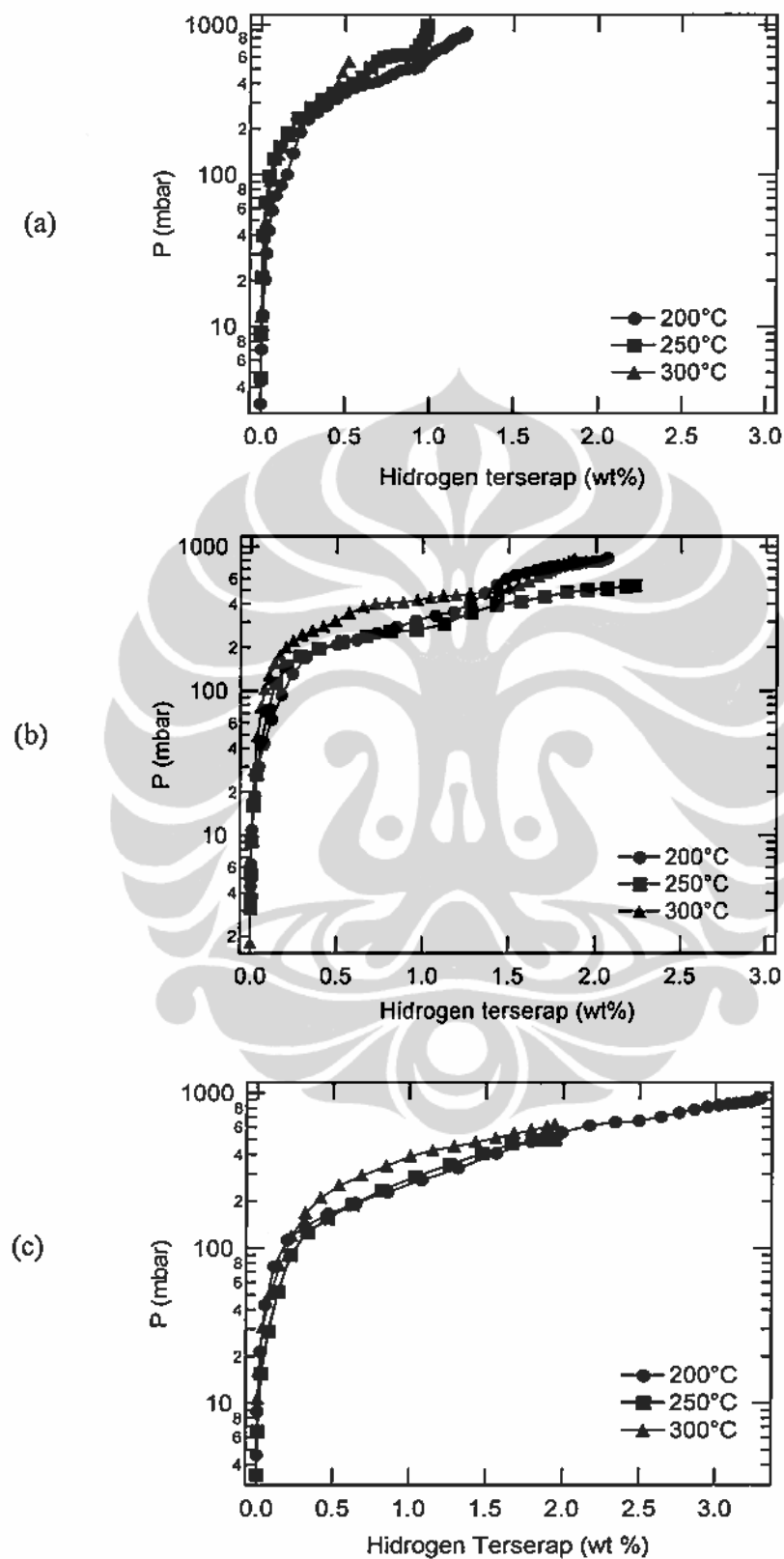
p_0 = tekanan atmosfer

ΔH = perubahan entalpi

ΔS = perubahan entropi

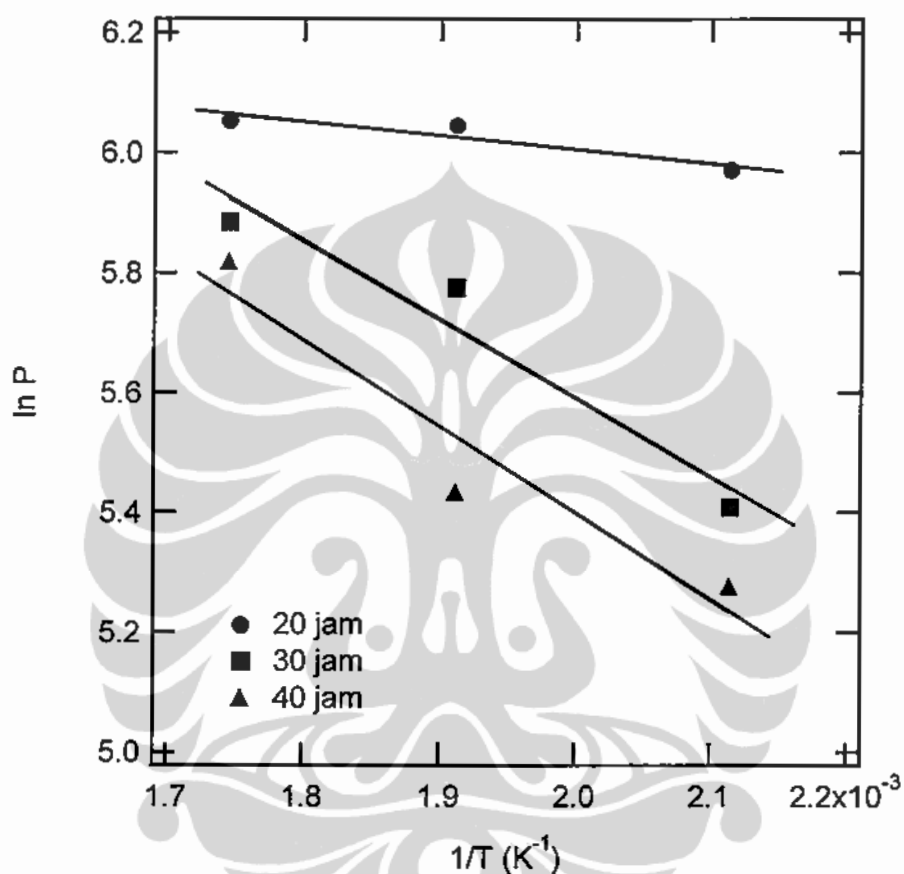
R = konstanta gas, $8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$

T = temperatur dalam Kelvin



Gambar 5.5 Pengaruh temperatur terhadap penyerapan hidrogen paduan Mg_3CoNi_2 pada milling selama (a) 20 jam, (b) 30 jam dan (c) 40 jam

Gambar 5.6 plot $\ln P$ vs $1/T$ dari Gambar 5.5 di atas. Dengan menggunakan persamaan (5.2) diperoleh nilai perubahan entalpi dan entropi yang ditunjukkan Tabel 5.3.



Gambar 5.6 Plot $\ln P$ vs $1/T$ dari penyerapan hidrogen paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 20, 30 dan 40 jam

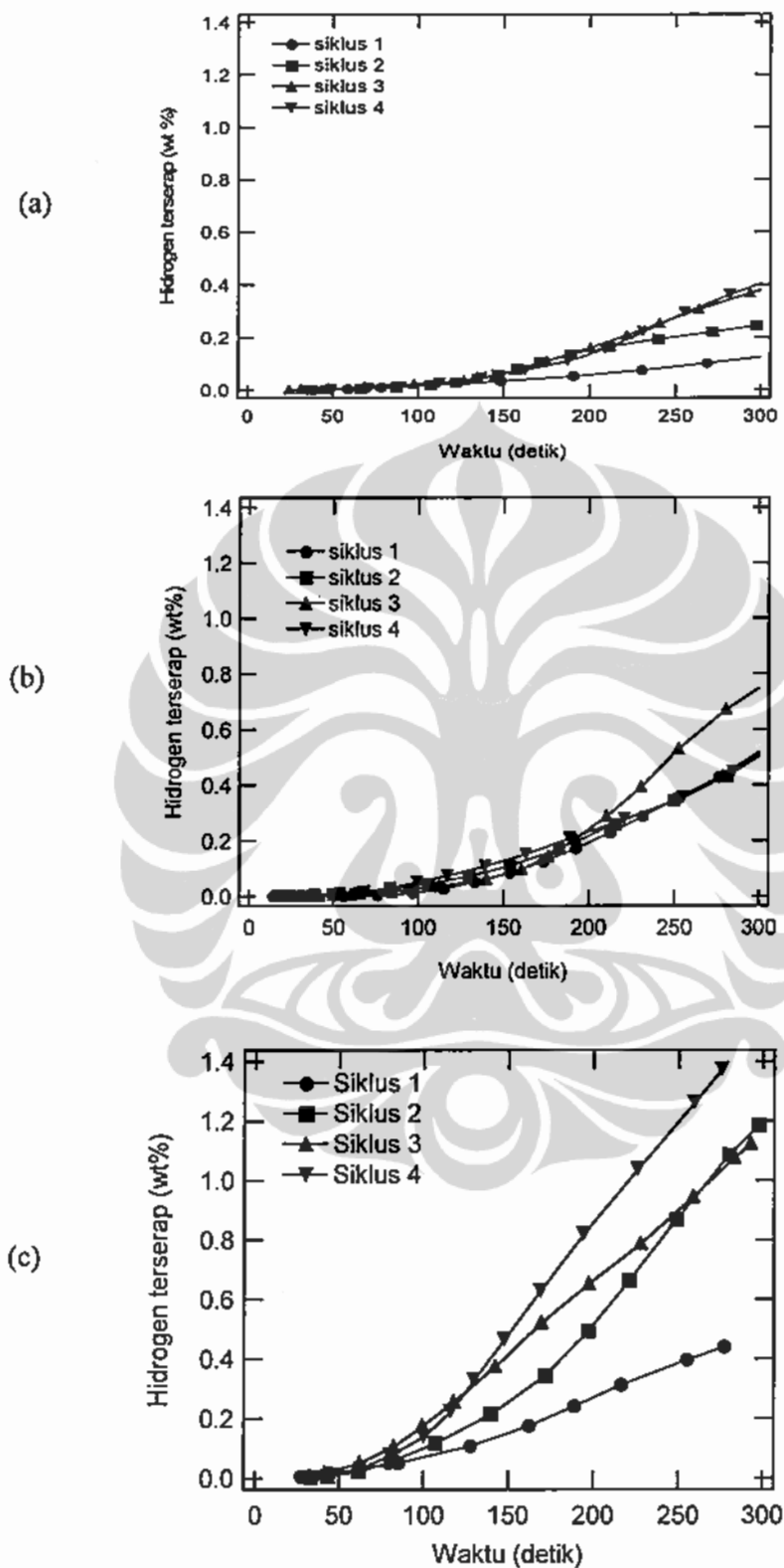
Tabel 5.3 Hasil perhitungan perubahan entalpi dan entropi

Lama milling (jam)	ΔH (Jmol ⁻¹)	ΔS (J K ⁻¹ mol ⁻¹)
20	-27,6582	77,2819
30	-157,3250	440,5215
40	-173,6348	477,1635
teori	-62	[50]

Dari hasil penghitungan di atas diketahui bahwa perubahan entalpi yang dihasilkan lebih kecil dari -62 kJ/mol kecuali pada paduan yang *dimilling* selama 20 jam. Nilai -62 kJ/mol ini merupakan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Ander Andreasen [50]. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa hidrida yang dibentuk dari paduan yang *dimilling* selama 30 jam dan 40 jam merupakan hidrida yang stabil. Kestabilan hidrida dari yang terendah berturut-turut adalah hidrida yang dibentuk oleh paduan yang *dimilling* selama $20 \text{ jam} < 30 \text{ jam} < 40 \text{ jam}$. Hidrida yang lebih stabil artinya hidrogen yang telah diserap tidak mudah dilepaskan. Hal ini merupakan salah satu sebab kapasitas penyerapannya pada temperatur dan tekanan yang sama lebih besar dibandingkan hidrida dengan kestabilan yang lebih rendah.

5.2 PENGARUH SIKLUS TERHADAP KAPASITAS PENYERAPAN HIDROGEN

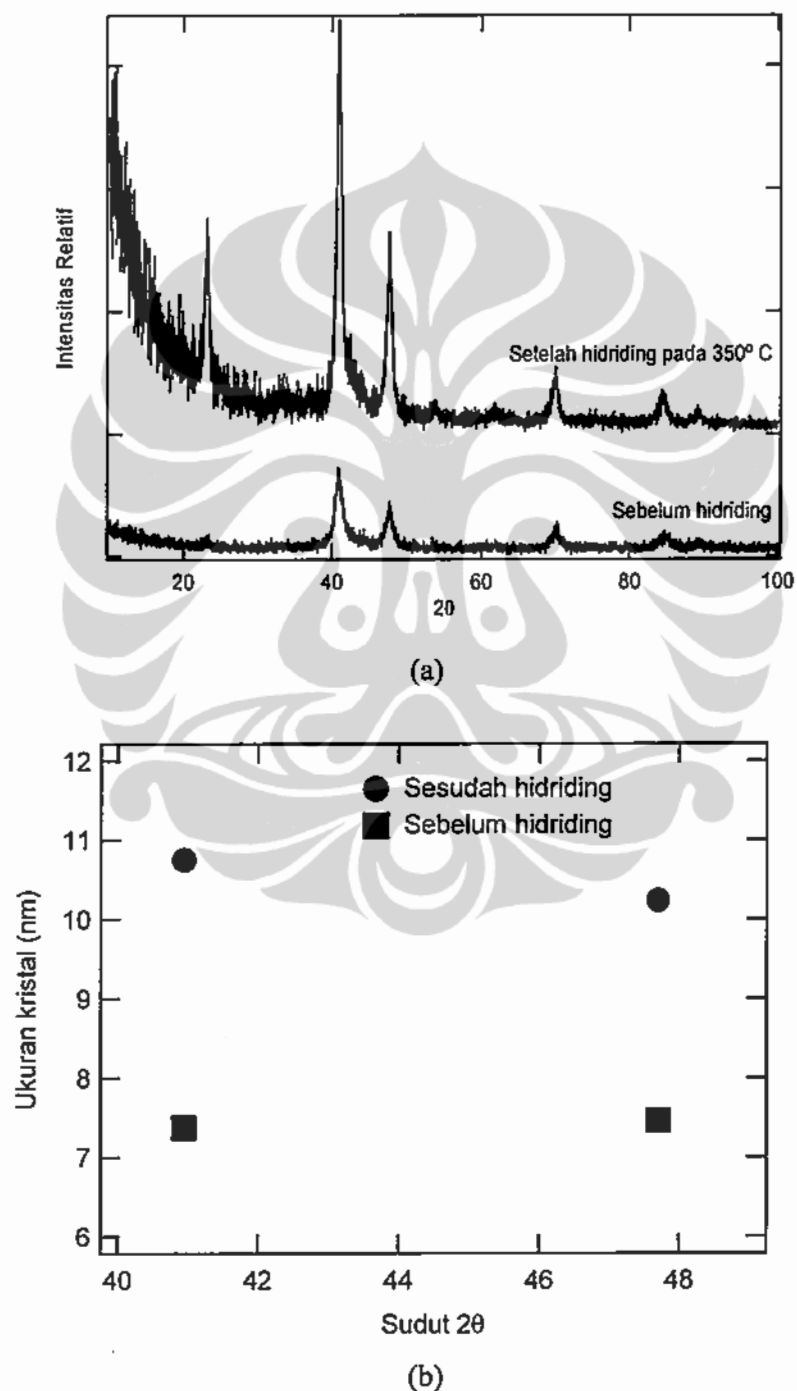
Pada proses penyerapan hidrogen sering kali memerlukan inisiasi agar hidrogen dapat masuk ke dalam material secara optimal. Inisiasi ini dimaksudkan untuk merobek lapisan oksida yang mudah terbentuk pada permukaan sampel. Hasil pengukuran pengaruh siklus terhadap kapasitas penyerapan ditunjukkan Gambar 5.7. Pada awal proses penyerapan seluruh sampel hampir memiliki kapasitas dan kecepatan penyerapan hidrogen yang hampir sama. Hal ini karena pada awal proses diperlukan inisiasi terlebih dahulu. Selain sampel yang *dimilling* selama 30 jam menunjukkan bahwa semakin besar jumlah siklus semakin besar kapasitas penyerapannya dan semakin cepat waktu yang diperlukan untuk menyerap hidrogen dalam jumlah yang sama.



Gambar 5.7 Pengaruh siklus terhadap kapasitas dan kecepatan penyerapan pada Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama (a) 20 jam, (b) 30 jam dan (c) 40 jam

5.3 PERUBAHAN STRUKTUR MIKRO SETELAH HIDRIDING

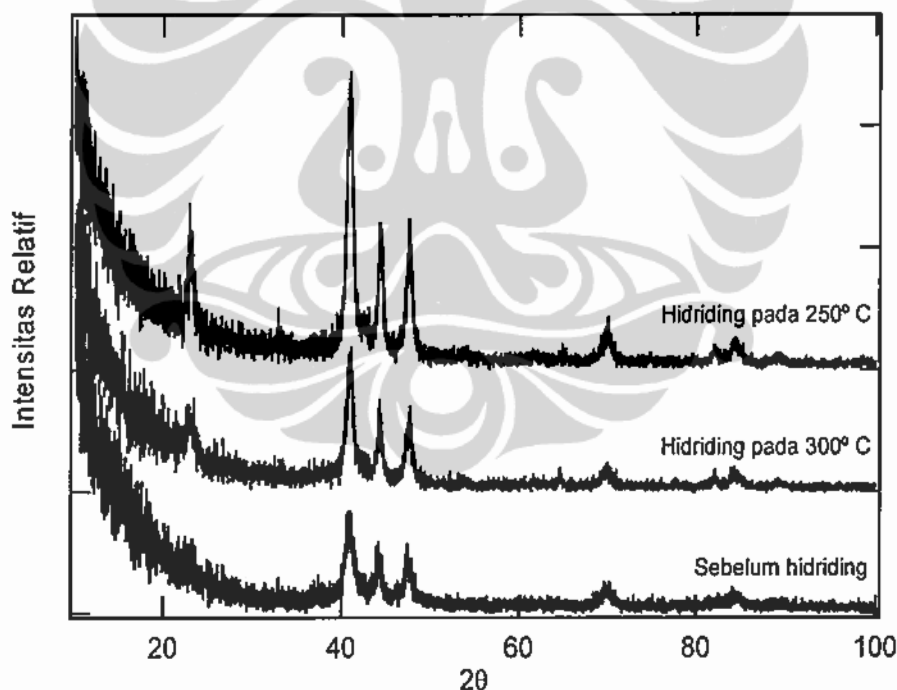
Perubahan struktur mikro pada Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 20 jam adalah munculnya puncak pada sudut $23,15^\circ$ yang sangat tajam (Gb 5.8).



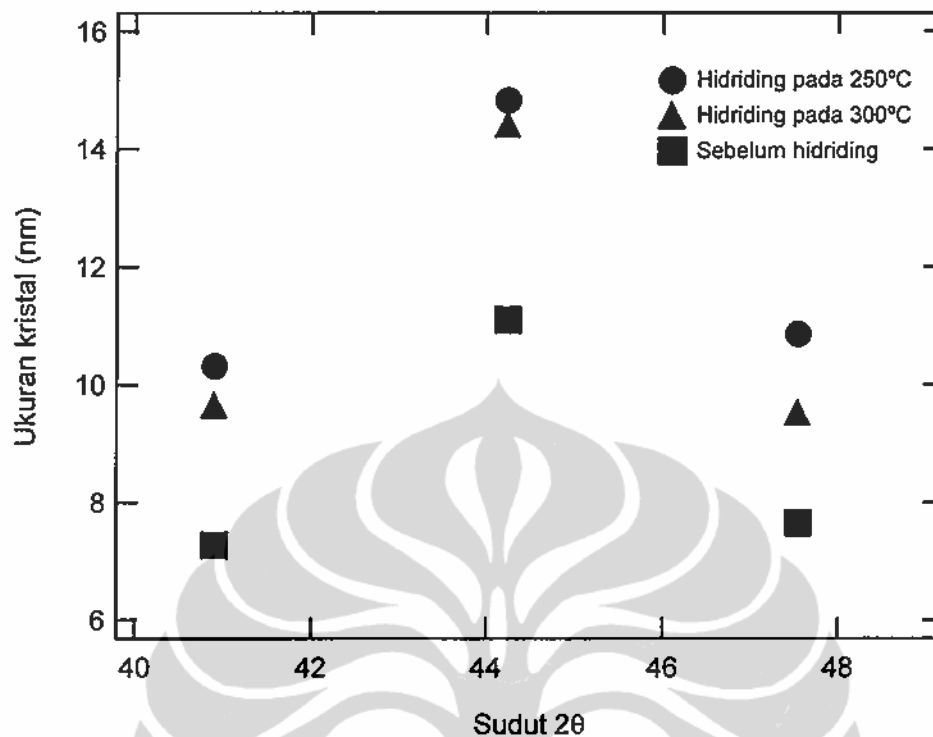
Gambar 5.8. Perubahan (a) pola difraksi dan (b) ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 20 jam sesudah hidriding

Puncak ini adalah puncak dari fasa Mg_2NiH_4 . Selain itu terjadi perubahan ukuran kristal rata-rata pada sudut $40,95^\circ$ dari 7 nm menjadi 11 nm dan pada sudut $47,7^\circ$ dari 7 nm menjadi 10 nm. Kenaikan ukuran kristal ini disebabkan hidrogen yang masuk ke dalam paduan memerlukan ruang sehingga kristal-kristal paduan menjadi mengembang. Hal yang sama juga terjadi pada milling selama 30 jam dan 40 jam. (Gambar 5.9 dan 5.10).

Perubahan struktur mikro pada Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 30 jam adalah munculnya pula puncak Mg_2NiH_4 pada sudut $23,15^\circ$ yang sangat tajam. Sedangkan perubahan ukuran kristal sebelum hidriding dan sesudah dihidriding pada temperatur $250^\circ C$ dan $300^\circ C$ berturut-turut terjadi pada sudut $40,95^\circ$ dari 7 nm menjadi 10 nm, pada sudut $44,24^\circ$ dari 11 nm menjadi 15 nm dan 14 nm sedangkan pada sudut $47,7^\circ$ dari 8 nm menjadi 11 nm dan 10 nm.

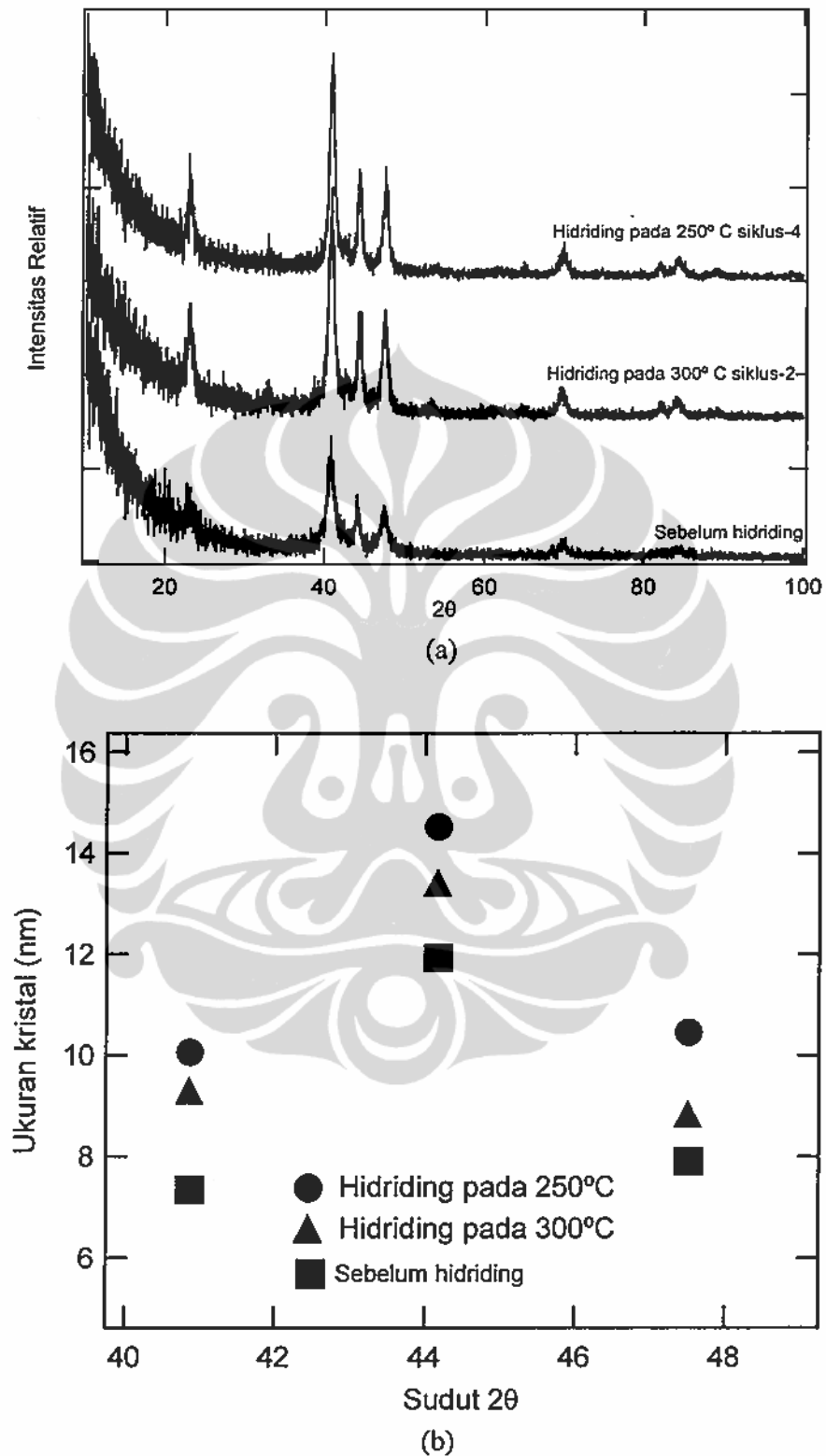


Gambar 5.9.a Perubahan pola difraksi paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 30 jam sesudah hidring



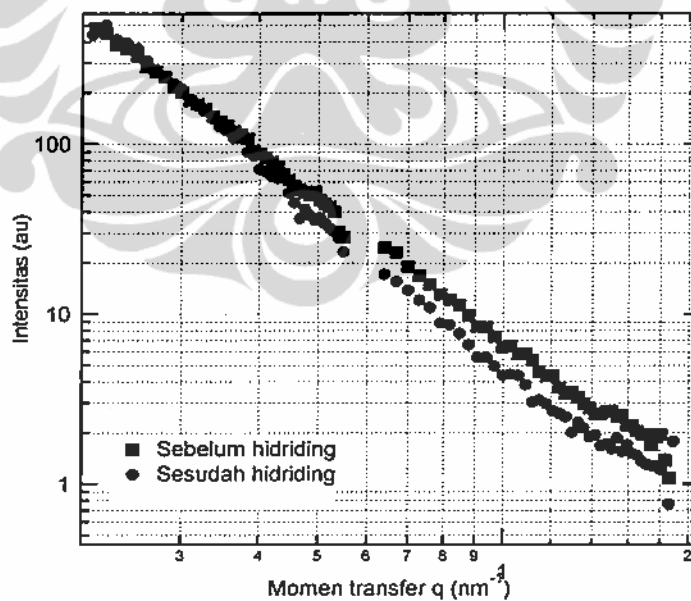
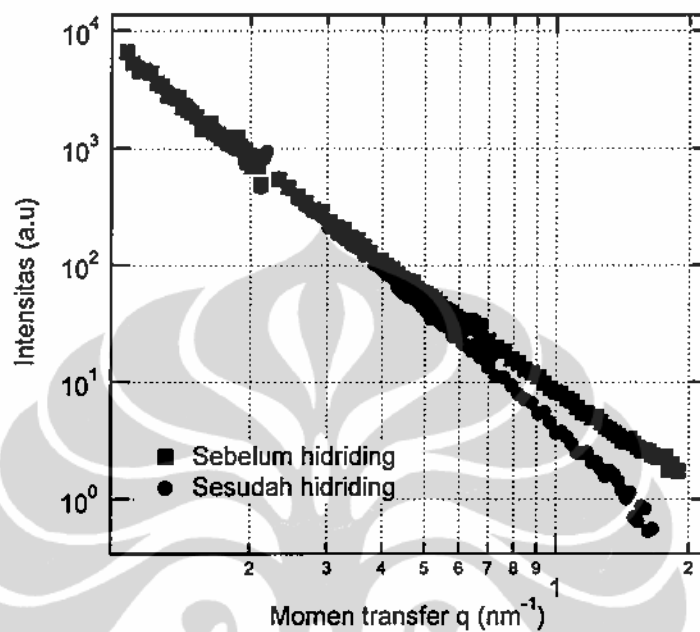
Gambar 5.9.b Perubahan ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 30 jam sesudah hidriding

Adapun perubahan struktur mikro pada Mg_3CoNi_2 yang *dimilling* selama 40 jam adalah munculnya pula puncak Mg_2NiH_4 pada sudut $23,15^\circ$ yang sangat tajam. Sedangkan perubahan ukuran kristal rata-rata sebelum dan sesudah dihidriding pada temperatur $250^\circ C$ dan $300^\circ C$ berturut-turut terjadi pada sudut $40,87^\circ$ dari 7 nm menjadi 10 nm dan 9 nm, pada sudut $44,17^\circ$ dari 12 nm menjadi 15 nm dan 13 nm sedangkan pada sudut $47,52^\circ$ dari 8 nm menjadi 10 nm dan 9 nm.



Gambar 5.10. Perubahan (a) pola difraksi dan (b) ukuran kristal paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 40 jam sesudah hidriding

Perubahan secara mikro juga ditunjukkan pada pengamatan dengan menggunakan SANS (*Small Angle Neutron Scattering*) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11. Profil SANS sebelum dan sesudah hidriding paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling pada 20 jam (a) dan 30 jam (b)

Dari profil SANS tersebut di atas dapat diketahui bahwa terjadi penurunan intensitas terutama pada vektor hamburan q besar. Hal ini dikarenakan paduan yang telah dihidriding mengandung hidrogen di mana hidrogen bersifat menyerap neutron sehingga intensitas hamburan neutron menjadi lebih kecil.

Karena gradien dari profil SANS di atas ± 4 (disebut daerah Porod) maka informasi yang dapat diperoleh adalah terkait dengan luas permukaan [39]. Dengan menggunakan persamaan Porod (persamaan 4.2) maka luas permukaan dapat ditentukan.

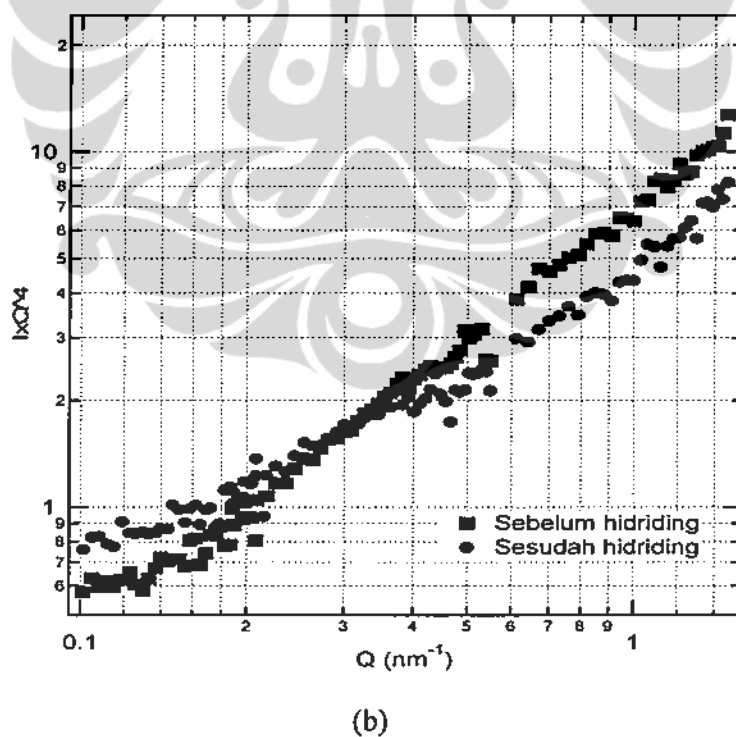
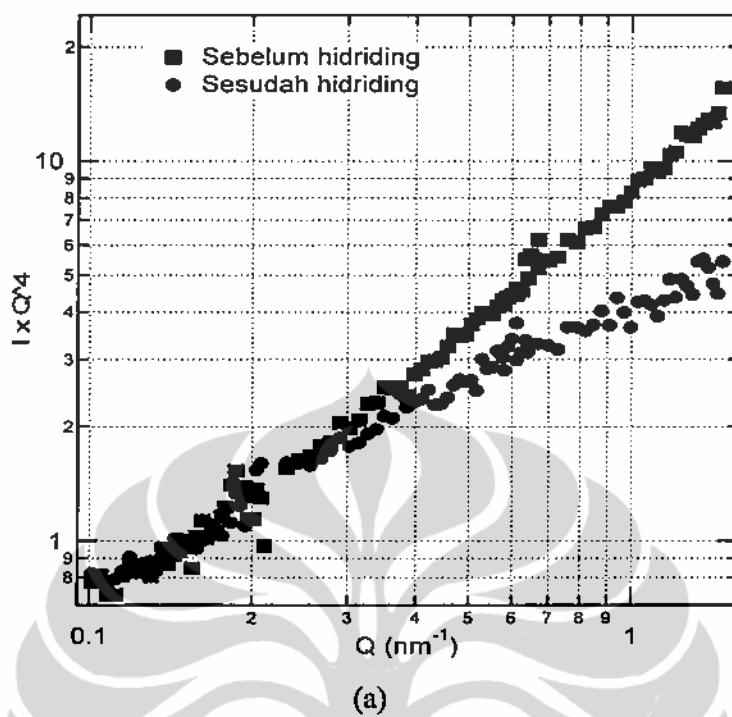
$$\frac{d\Sigma}{d\Omega} = \frac{2\pi|\Delta\rho|^2 S_v}{Q^4} \quad (5.3)$$

Dimana S_v adalah luas permukaan per unit volume, $\Delta\rho$ adalah perbedaan densitas panjang hamburan dari sampel faktor kontras. Pada kenyataannya, hamburan parasitik dari sampel tidak dapat diabaikan pada daerah Porod ini. Oleh karena itu persamaan (4.2) di atas dapat ditulis dengan:

$$I = \frac{2\pi|\Delta\rho|^2 S_v}{Q^4} + C \quad (5.4)$$

Dimana I adalah intensitas absolut, C adalah intensitas background. Dari persamaan (4.3) ditunjukkan bahwa plot IQ^4 vs Q berupa garis linier. Maka nilai y pada q tertinggi merupakan konstanta Porod, yakni senilai $2\pi|\Delta\rho|^2 S_v$. Jika data intensitas absolut terkalibrasi dan faktor kontras diketahui maka luas permukaan dapat diketahui. Karena intensitas absolut SANS belum diketahui maka nilai luas permukaan belum dapat dihitung tetapi secara relatif perubahan luas permukaan sebelum dan sesudah hidriding dapat ditunjukkan pada Gambar 5.12. Setelah hidriding luas permukaan mengalami penurunan dengan turunnya nilai IQ^4 .

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa setelah hidriding luas permukaan sampel mengalami penurunan yang berarti terjadi pembesaran ukuran butir. Hal ini sesuai dengan perhitungan dengan menggunakan difraksi sinar-X di atas, bahwa setelah hidriding terjadi pembesaran ukuran butir karena adanya hidrogen yang masuk ke dalam sampel.



Gambar 5.12 Perubahan luas permukaan sebelum dan sesudah hidriding paduan Mg_3CoNi_2 yang dimilling selama 20 jam (a) dan 30 jam (b)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- a. Pembuatan paduan dengan metode pemaduan mekanik basah didapatkan hasil yang baik karena terhindar dari oksidasi. Sebagai media dibutuhkan bahan kimia cair yang tidak bereaksi dengan bahan paduan. Pada pembuatan paduan Mg_3CoNi_2 , toluen dapat digunakan dengan baik.
- b. Fasa yang terbentuk pada paduan Mg_3CoNi_2 sebagian besar adalah Mg_2Ni dengan parameter kisi yang lebih kecil yakni dari 5,22 Å menjadi 4,59 Å dan 13,29 Å menjadi 11,72 Å. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi substitusi Co pada sebagian posisi Ni. Mengecilnya parameter kisi ini karena jari-jari atom Co lebih kecil dari pada atom Ni. Sedangkan fasa Mg_2Co tidak terbentuk karena pembentukannya memerlukan temperatur yang lebih tinggi.
- c. Fraksi volume fasa Mg_2Ni yang terbentuk dari sampel yang *dimilling* selama 20, 30 dan 40 jam berturut-turut adalah sebesar 67,16 %, 73,66 % dan 79,36 %.
- d. Fasa yang terbentuk setelah hidriding sebagian besar adalah Mg_2NiH_4 dan sebagian kecil MgH_2 dan $Mg_2NiH_{0.3}$. Yaitu berturut-turut 57,59 %, 0 % dan 20,16% untuk paduan yang *dimilling* selama 20 jam, 61, 88%, 30,73% dan 0% untuk paduan yang *dimilling* selama 30 jam serta 88,51%, 0% dan 0% untuk paduan yang *dimilling* selama 40 jam.
- e. Paduan yang *dimilling* lebih lama membentuk hidrida yang lebih stabil sehingga pada waktu dan temperature yang sama kapasitas hydrogen yang terserap lebih besar karena hydrogen tidak mudah terlepas.

- f. Kapasitas hidrogen yang dapat diserap paduan Mg_3CoNi_2 setelah *dimilling* selama 20, 30 dan 40 jam selama 300 detik proses hidriding pada temperatur $200^{\circ}C$ berturut-turut sebesar 0,28; 0,50 dan 1,16 wt% $250^{\circ}C$ berturut-turut sebesar 0,43; 0,55 dan 1,48 wt% sedangkan pada temperature $300^{\circ}C$ berturut-turut sebesar 0,38; 0,55 dan 1,77 wt%.
- g. Kapasitas hidrogen yang dapat diserap terbanyak diperoleh pada paduan yang *dimilling* selama 40 jam dan temperature hidriding $200^{\circ}C$, yaitu sebesar 3,3 wt % selama 15 menit. Hasil ini mendekati hasil teoritis Mg_2Ni , yaitu 3,6 wt%.
- h. Perubahan secara mikro setelah hidriding adalah ukuran kristal yang semakin besar, seperti pada *milling* 20 jam dari 7 nm menjadi 10 nm. Membesarnya ukuran kristal ini karena hidrogen masuk ke dalam kristal. Dari hasil pengamatan SANS juga diketahui terjadi penurunan luas permukaan sampel.

6.2 SARAN

Penelitian ini masih belum sempurna sehingga diperlukan penelitian lanjutan diantaranya waktu *milling* yang lebih lama, pengukuran kapasitas maksimal hidrogen yang dapat diserap paduan Mg_3CoNi_2 dan pengukuran dehidriding.

DAFTAR ACUAN

- [1].A.Zuttel, (2003) "*Hydrogen storage methods and materials*",
www.ifres.ch/homepage,
- [2].Imbang Istiadi, (2005) "*Kebijakan Industri dalam mengantisipasi masuknya teknologi fuel cell ke Indonesia*", Seminar dan Kongres I Konsorsium Fuel Cell Indonesia, Jakarta
- [3].Gunter R. Simader, (April 2002) "*Fuel cell technologies for hydrogen*",
http://www.eva.ac.at/publ/pdf/fuelcell_hydro1,
- [4].Tero Hottinen (2001), "*Technical Review and Economic Aspects of Hydrogen Storage Technology*", Master's thesis, Espoo
- [5].L. Schlapbach and A. Zuttel (2001), "*Hydrogen Storage Materials for Mobile Application*", *Nature*, Vol 414, p.353
- [6].R. Griessen and T. Riester (1988) in "*Hydrogen in Intermetallic Compounds I*", ed. By L. Schlapbach, *Topics Appl.Phys.*, Vol 63, Springer, Berlin, hal. 219
- [7].Shin-ichi Orimo dan Hironobu Fujii (1998), "*Effects of nanometer-scale structure on hydriding properties of Mg-Ni alloys: a review*", *Intermetallic* 6, hal. 185-192
- [8].K.Ikeda, S.Orimo, A.Zuttel, L.Schlapbach, H.Fujii (1998), "*Cobalt and Copper Substitution Effects on Thermal Stabilities and Hydriding Properties of Amorphous MgNi*", *Journal of Alloys and Compounds* 280, hal. 279-283.
- [9].K. Yamamoto, S. Orimo, H. Fujii, Y. Kitano (1999), "*Hydriding properties of the heat-treated MgNi alloys with nanostructural designed multiphase*", *Journal of Alloys and Compounds* 293-295, hal 546-551.
- [10].Jean-Louis Bobet, Etsuo AKiba, B.Darriol (2001), "*Study of Mg-M (M=Co, Ni, and Fe) Mixture Elaborated by Reactive Mechanical Alloying: Hydrogen Sorption Properties*", *International Journal of Hydrogen Energy* 26, hal. 493-501.

- [11].N. Terashita, K.Kobayashi, T. Sasai, E. Akiba (2001), " *Hydriding properties of (Mg_{1-x})Ni₂ Laves phase alloys*", Journal of Alloys and Compounds 327, hal 275-280.
- [12].Liquan Li, Tomohiro Akiyama, Jun-ichi Yagi (2001), *Activity and Capacity of Hydrogen Storage Alloy Mg₂NiH₄ Produced by Hydriding Combustion Synthesis*, Journal of Alloys and Compounds 316, p. 118-123
- [13].Huanbin Yang, Huatng Yuan, Zuoxiang Zhou, Genshi Wang, Yunshi Zhang (2000), " *Characteristics of Mg₂Ni_{0.75}Co_{0.25} alloy after surface treatment*", Journal of Alloys and Compounds 305, hal. 282-289.
- [14].T. Spassov, P. Solsona, S. Bliznakov, S. Surinach, M.D. Baro (2003), *Synthesis and hydrogen sorption properties of nanocrystalline Mg_{1.9}M_{0.9}Ni (M=Ti, Zr,V) obtained by mechanical alloying*, Journal of Alloys and Compounds 356-357, hal. 639-643.
- [15].Hai-Liang Chu, Yao Zhang, Li-Xian Sun, Qi-Feng Tian, Fen Xu, Tao Zhang, Hua Tang Yuan (2006), *Structure and hydrogen storage properties of Mg₄₅M₅Co₅₀ (M= Zr, Ni, Al) ternary alloys bu mechanical alloying*, International Journal Electrochemistry Science 1, hal 47-54 .
- [16].L.Xie, H.Y.Shao, Y.T.Wang, Y.Li, X.G.Li (2007), *Synthesis and hydrogen storing properties of nanostructured ternary Mg-Ni-Co compounds*, International Journal of Hydrogen Energy 32, hal 1949-1953
- [17].I.Gonzalez Fernandez, F.C.Gennari, G.O. Meyer (2008), *Influence of sintering parameters on formation of Mg-Co hydrides based on their thermodynamic characterization*, Journal of Alloys and Compounds 462, p. 119-124
- [18].Kubou, (4th edition, 1995) " *Bukkagaku Jiten*" (Japanese), Iwanami Shoten Publisher
- [19].Stefan Geiger, (May 2004) " *Fuel cell markert survey: Automotive hydrogen infrastructure*", <http://www.fuelcelltoday.com/> ,
- [20].Weast R.C (1976), " *Handbook of chemistry and physics*", ed. 57, CRC Press
- [21].Hydrogen production and storage, IEA-Co ordination group
- [22].H.Blomqvist (,2003) , PhD Thesis, Stockholm University

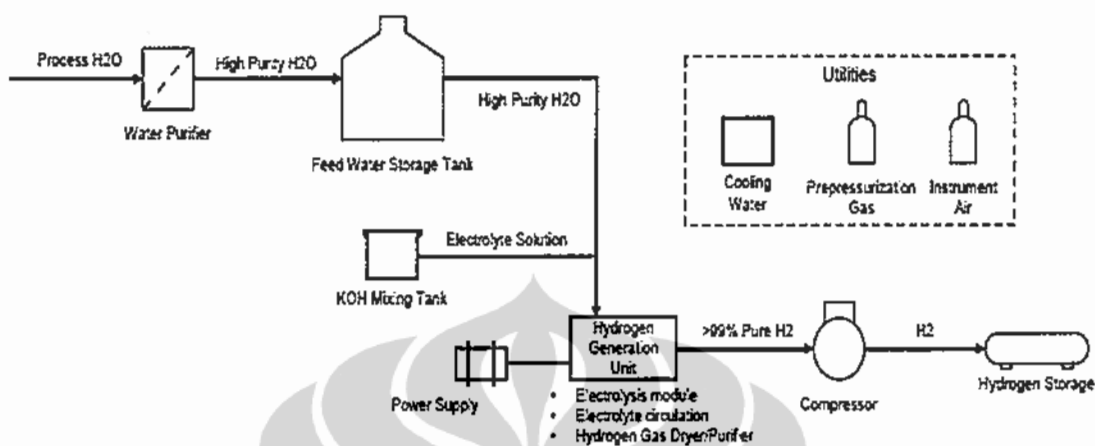
- [23]. G. Alefeld and J. Volkl (1978), *Hydrogen in Metals I*, Vol 28 of *Topics in Applied Physics*, edited, Springer Verlag, Berlin
- [24]. M. Dornheim, T. Klassen and R. Bornmann, *Hydrogen Storage Materials*, www.jsps.go.jp/j-bilat/asi/data_2004
- [25]. Y. Fukai (1993), "*In The Metal-hydrogen System*", Springer Series Material Science 21, Berlin.
- [26]. Sandrock (1999), "*A Panoramic overview of hydrogen storage alloys from gas reaction point of View*", *J. Alloys and Compounds* 293, p.877-888
- [27]. L. Guenee, V. Faure-Nicolin, K. Yvon (2003), *Synthesis, crystal structure and hydrogenation properties of ternary compounds LaNi₄Mg and NdNi₄Mg*, *Journal of Alloys and Compounds* 348, p. 129-137
- [28]. Tony Spassov, Uwe Kotser (1998), *Thermal stability and hydriding properties of nanocrystalline melt-spun Mg₆₃Ni₃₀Y₇ alloy*, *Journal of Alloys and Compounds* 279, p. 279-286
- [29]. Liqian Li, Itoko Saita, Katsushi Saito, Tomohiro Akiyama (2002), *Effects synthesis temperature on the purity of product in hydriding combustion synthesis of Mg₂NiH₄*, *Journal of Alloys and Compounds* 345, hal 189-195
- [30]. Liang G, Boily S, Hout J, Van Neste A and Schulz R (1998), *Mechanical alloying and hydrogen absorption properties of the Mg-Ni system*, *Journal of Alloys and Compounds* 267, p. 302
- [31]. Huang-Tang Yuan, Rui Co, Lian-bang Wang (2001), *Characteristic of a new Mg-Ni hydrogen storage system: Mg_{2-x}Ni_{1-y}Ti_xMn_y (0<x,y<1) alloys*, *Journal of Alloys and Compounds* 322, p. 246-248
- [32]. V.M. Skripnyuk, E. Rabkin, Y. Estrin, R. Lapovok (2004), *The effect of ball milling and equal channel angular pressing on the hydrogen absorption/desorption properties of Mg-4.95 wt % Zn-0.71 wt % Zr (ZK60)*
- [33]. Huaiyu Shao, Tong Liu, Xingguo Li (2003), *Preparation of the Mg₂Ni compound from ultrafine particles and its hydrogen storage properties*, *Nanotechnology* 14, L1-L3

- [34]. Shen-Long Lee, Che-Wei Hsu, David S.W.Lim (2009), *New approach for mass production of Mg₂Ni hydrogen storage compound by Isothermal Evaporation Casting Process (IECP)*, Proceeding International Conference on Materials and Metalurgical Technology 2009, ICOMMET 2009, hal.1-6.
- [35]. Jean-Bobet, Bernard Chevalier, Bernard Darriet (2002), *Effect of reactive mechanical grinding on chemical and hydrogen sorption properties of the Mg +10 wt % Co mixture*, Journal of Alloys and Compounds 330-332, hal 738-742
- [36]. M.Jurczyk (2004), *The progress of nanocrystalline hydride electrode materials*, Bulletin of the polish academy of sciences, Vol 52, No 1.
- [37]. J. Bystrzycki, T. Czujko, R.A.Varin, D. Oleszack, T. Durejko, W. Darlewski, Z. Bojar, W. Przetkiewicz (2003), *Nanocrystalline hydrogen absorbing Mg-Ni alloy processed by mechanical (ball) milling*, Rev.Adv.Mater.Sci.5, p. 450-454
- [38]. HARRIS, J.R.(September 2002), *"Mathematical Modelling of Mechanical Alloying"*, Thesis submitted to The University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.
- [39]. Mechanical Alloying, Case Study, <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/pubs/pt2.html#mechanical>, 2 Maret 2006.
- [40]. Roger Pynn (2007), *Lecture: Small Angle Scattering*, Los Alamos National Laboratory
- [41]. R.E. Smallman, (1991), *Metalurgi Fisik Modern*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [42]. A. Zaluska, L. Zaluski, J.O. Strom-Olsen (1999), *Nanocrystalline magnesium for hydrogen storage*, Journal of Alloys and Compounds 288, hal. 217-225.
- [43]. T. Spassov et. Al (2004), *Optimisation of the ball-milling and heat treatment parameters for synthesis of amorphous and nano crystalline Mg₂Ni-based alloys*, J. Alloys and Compounds 349, hal. 242-254.
- [44]. Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic Phases, ASM International, Second Edition

- [45]. Jeffrey J. Thomas, Hamlin M. Jennings and Andrew J. Allen (1999), *The surface area of hardened cement paste as measured by various techniques*, *Concrete Science and Engineering 1*, hal. 45-64.
- [46]. Andon Insani, Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Wisnu Ari Adi dan Eddy S Siradj (Edisi Khusus Oktober 2006), *Studi Difraksi Sinar-X pada Pembuatan Paduan Mg-Co-Ni yang Dibuat dengan Metode Pemaduan Mekanik (Mechanical Alloying)*, *Jurnal Sains Materi*, 35-39
- [47]. Wisnu Ari Adi, Hadi Suwarno, Andon Insani, Nusin S (Juni 2008), *Mekanisme Pembentukan Fasa Mg_2Ni dengan Metode Mechanical Alloying*, *Jurnal Sains Materi*.
- [48]. S. Bouaricha, J.P. Dodelet, D. Guay, J. Huot, S. Boily, R. Schulz (2000), *Effect of carbon-containing compounds on the hydriding behavior of nanocrystalline Mg_2Ni* , *Journal of Alloys and Compounds* 307, hal. 226-233
- [49]. Andon Insani, Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Eddy S. Siradj (2008), *Pengukuran penyerapan hidrogen pada paduan Mg_3CoNi* , *Jurnal Sains Materi Edisi khusus Desember 2008*, hal. 158-163.
- [50]. Anders Andreasen (2004), *Predicting formation enthalpies of metal hydrides*, Riso National Laboratory Roskilde Denmark, hal 26.

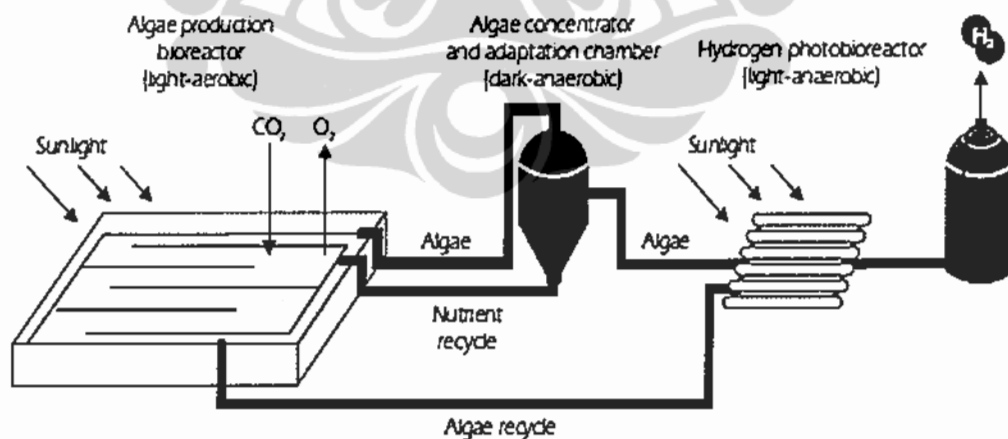


Lampiran 1 Skema Produksi Hidrogen



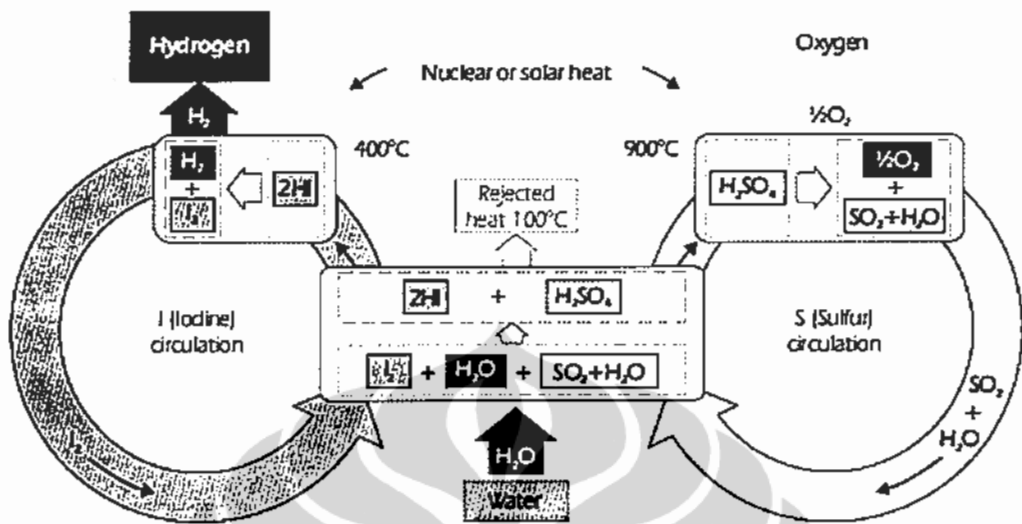
Skema proses elektrolisa air untuk produksi hidrogen

Principle of photo-biological hydrogen production

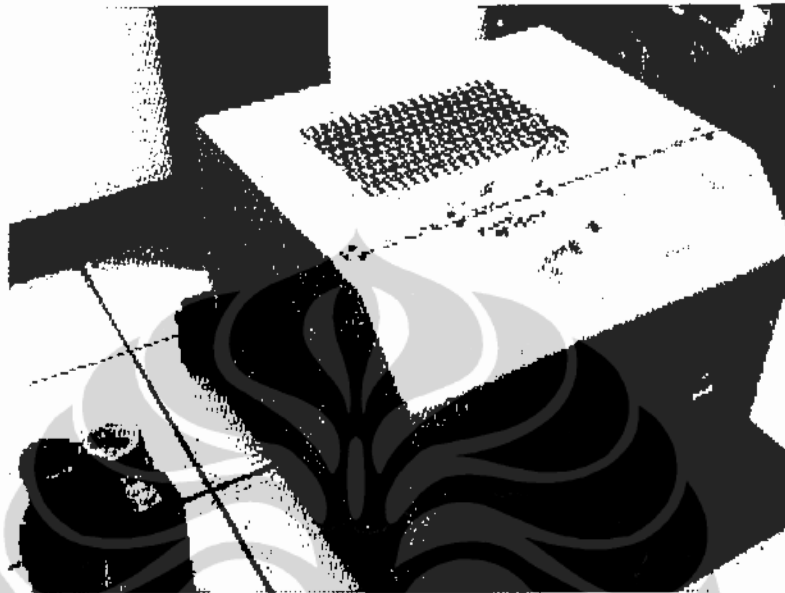


Skema produksi hidrogen dari biofotolisis

Principle drawing of Iodine/sulfur thermo-chemical process



Skema produksi hidrogen dengan reaksi termokimia

Lampiran 2. Alat Penelitian

SPEX 8000 High Energy Ball Milling



Difraksi Sinar-X Tipe PW 2213/20 Philips



SANS



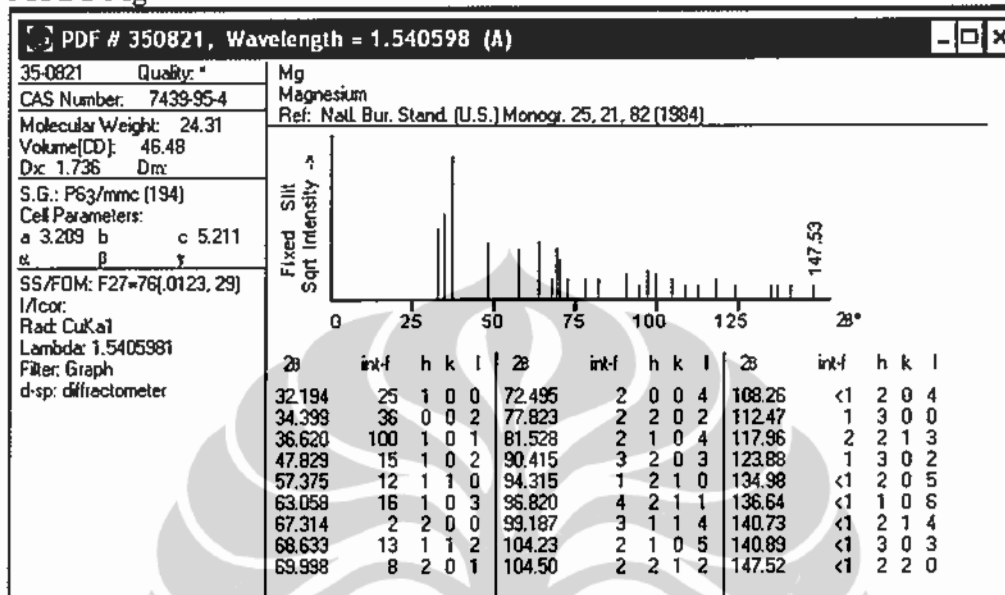
Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)



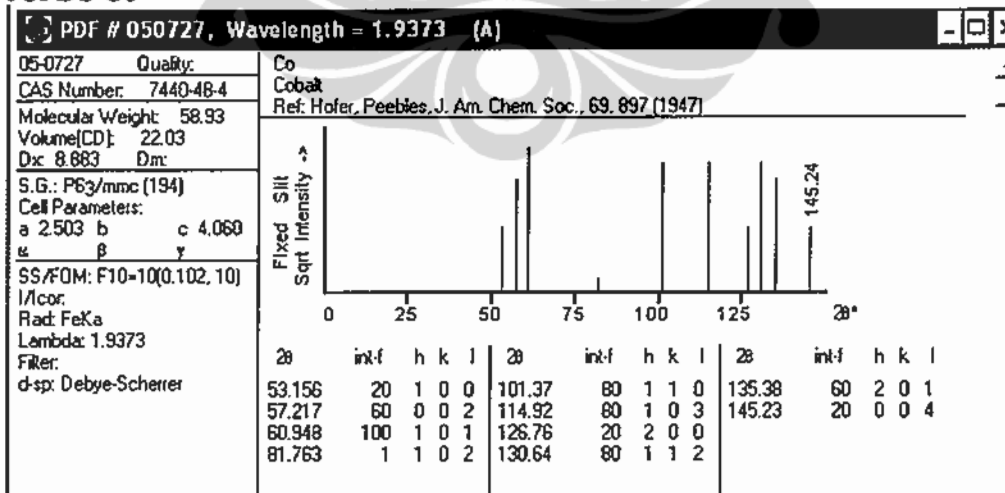
Peralatan Hidriding Tipe Sievert

Lampiran 3. Data JCPDS (JCPDS-ICDD 1997 – LIPI)

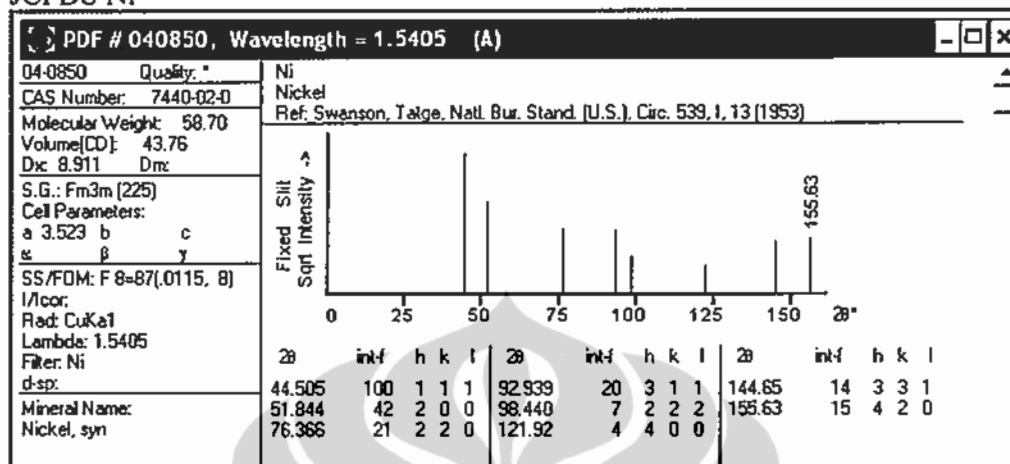
JCPDS Mg



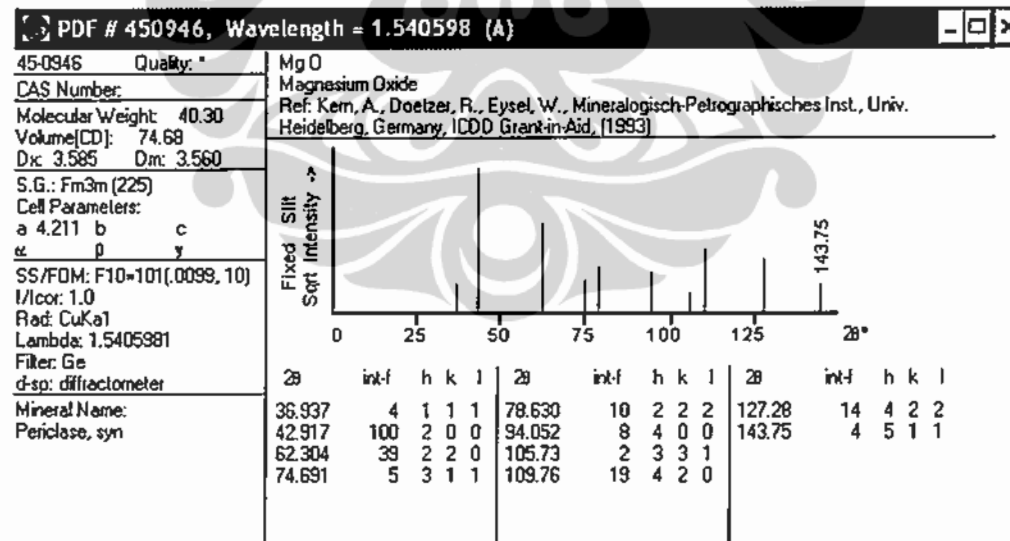
JCPDS Co



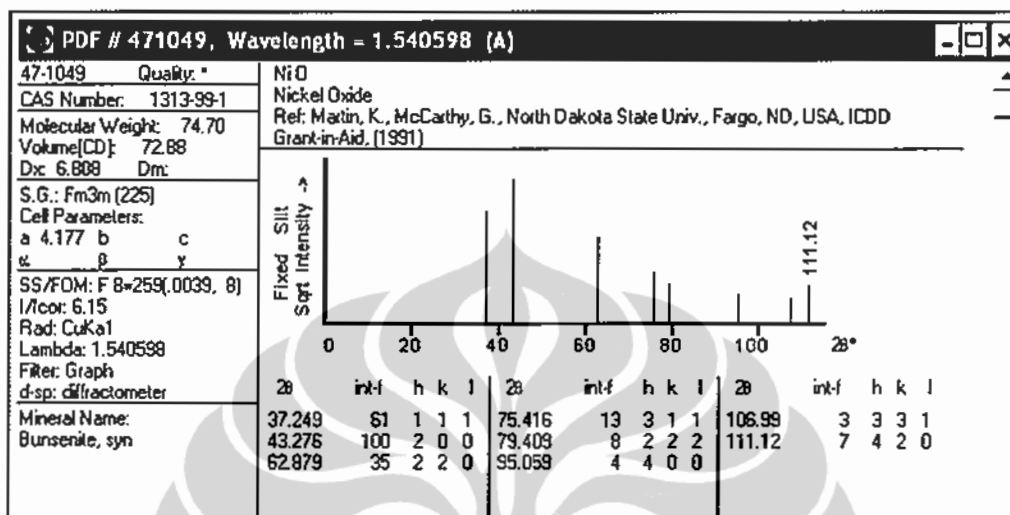
JCPDS Ni



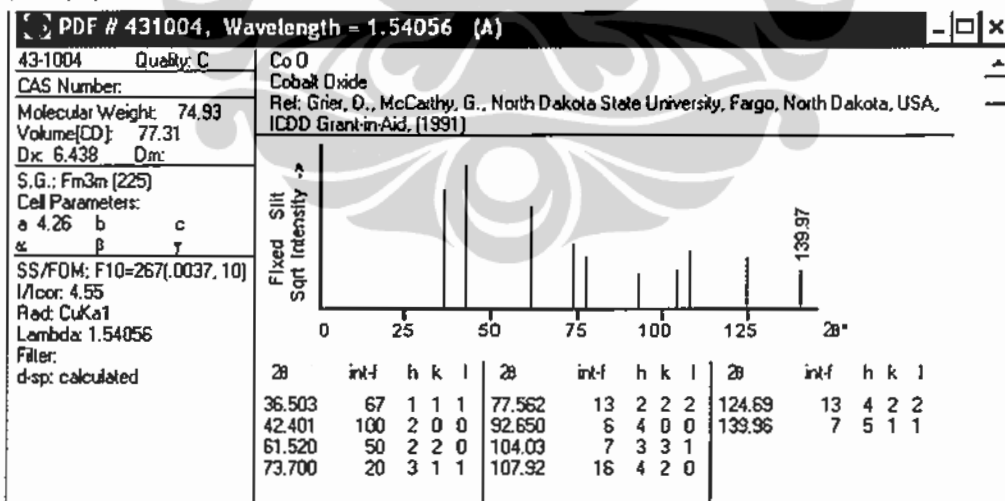
JCPDS MgO

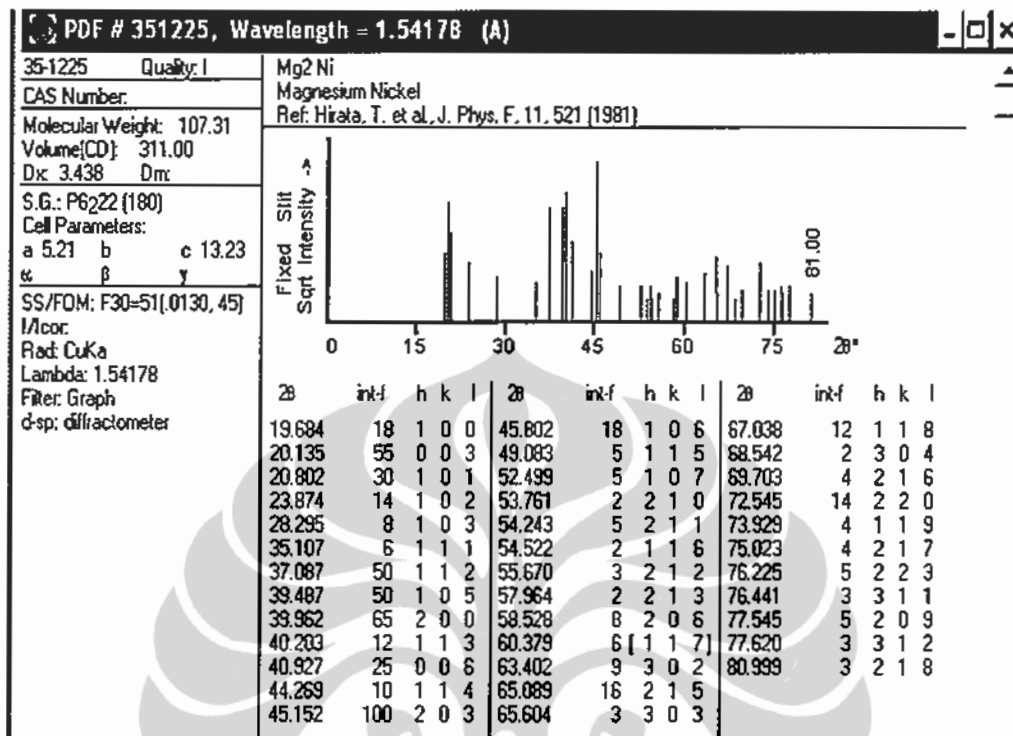
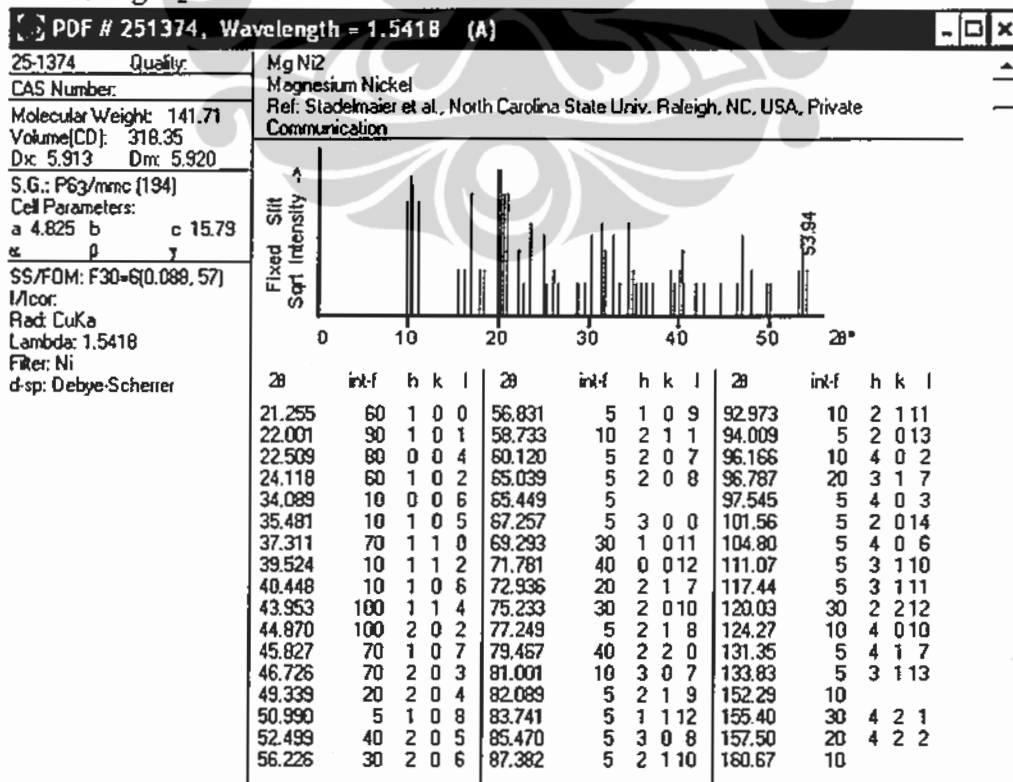


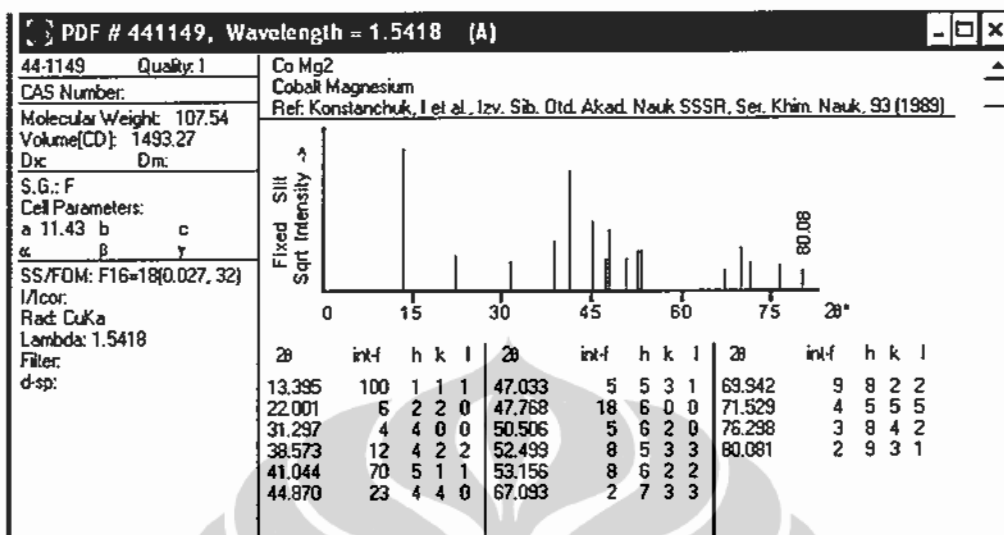
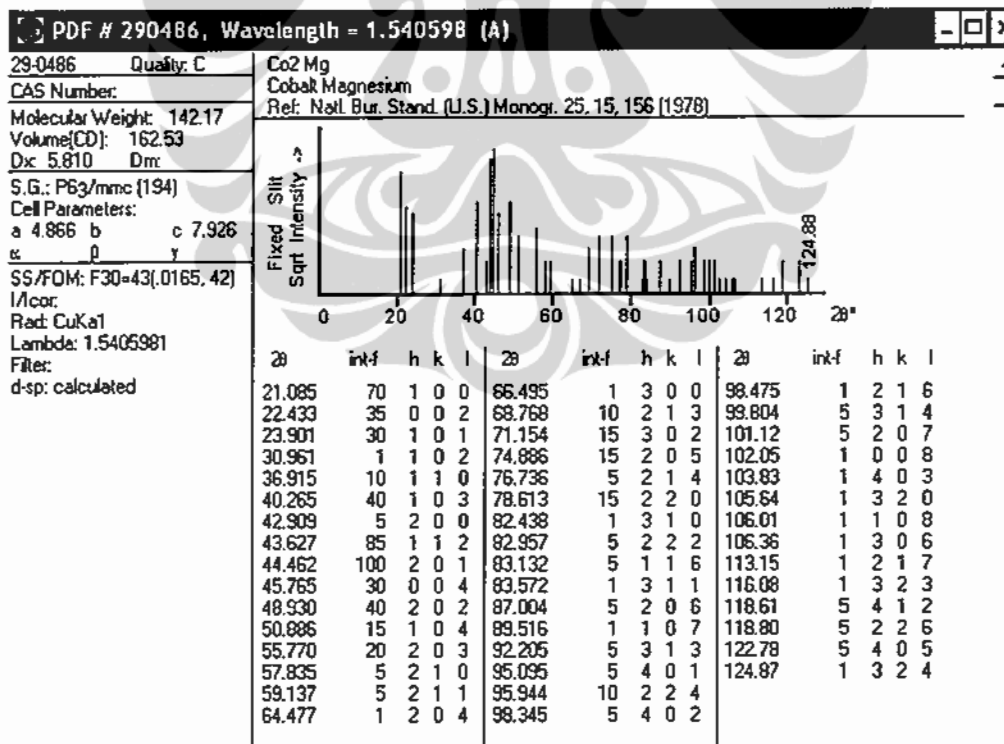
JCPDS NiO

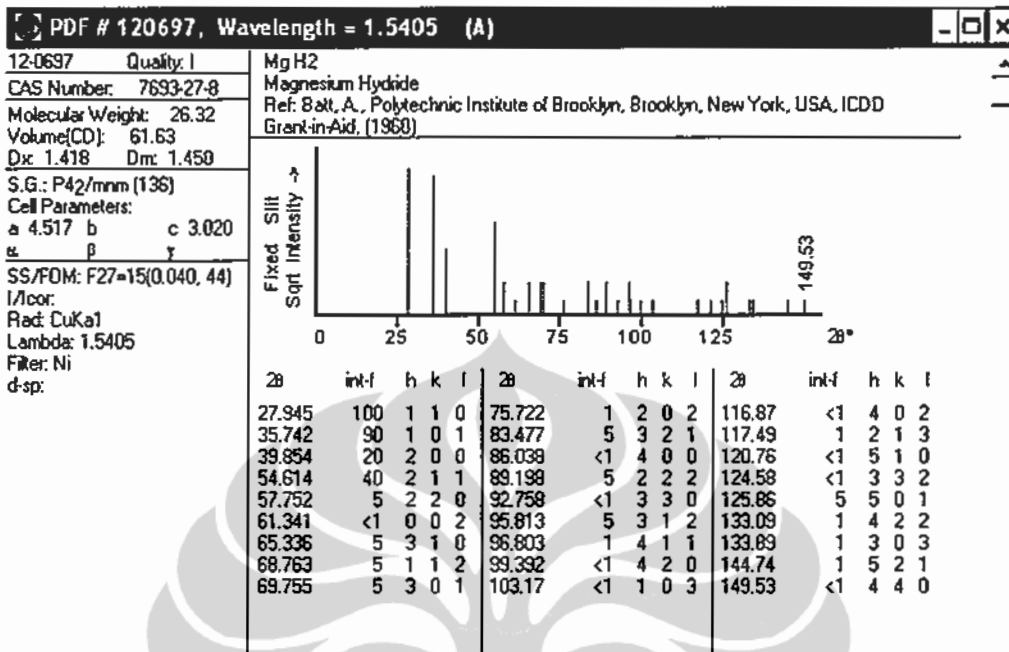
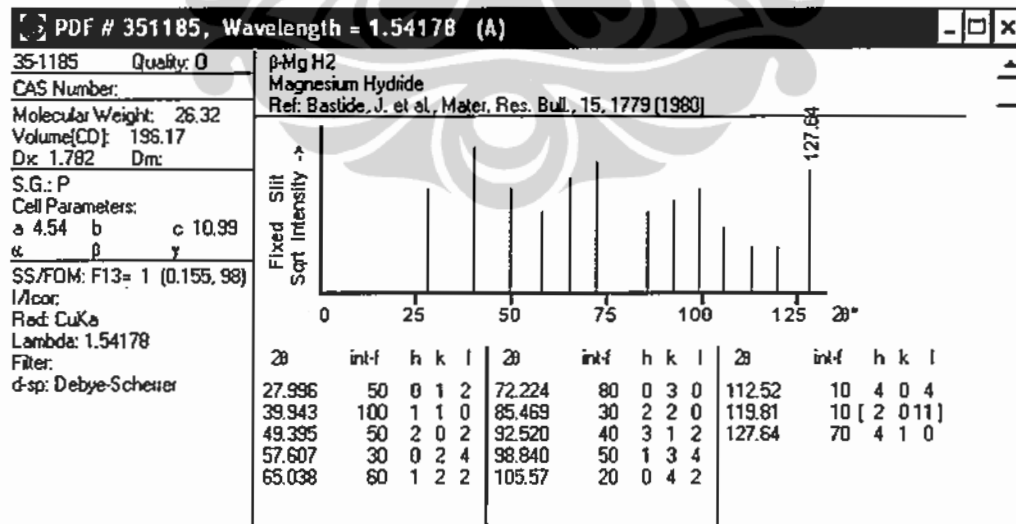


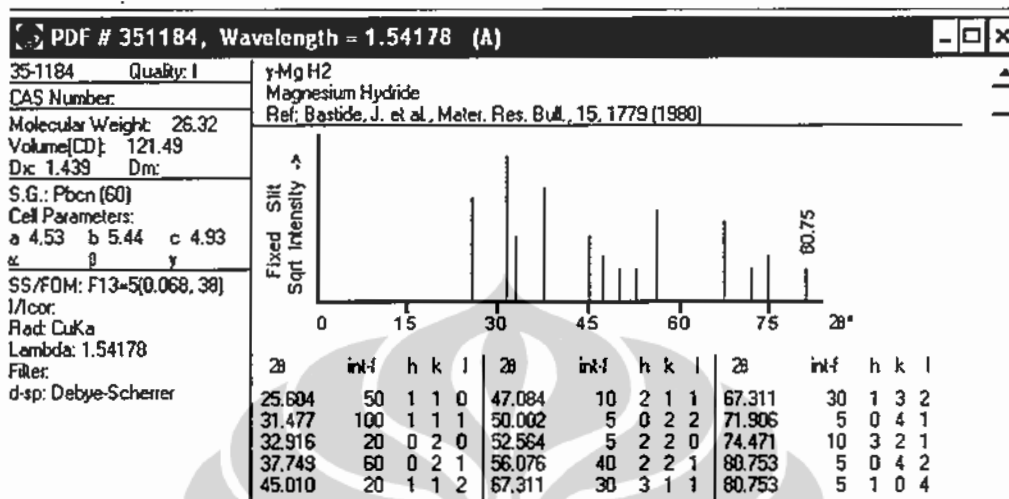
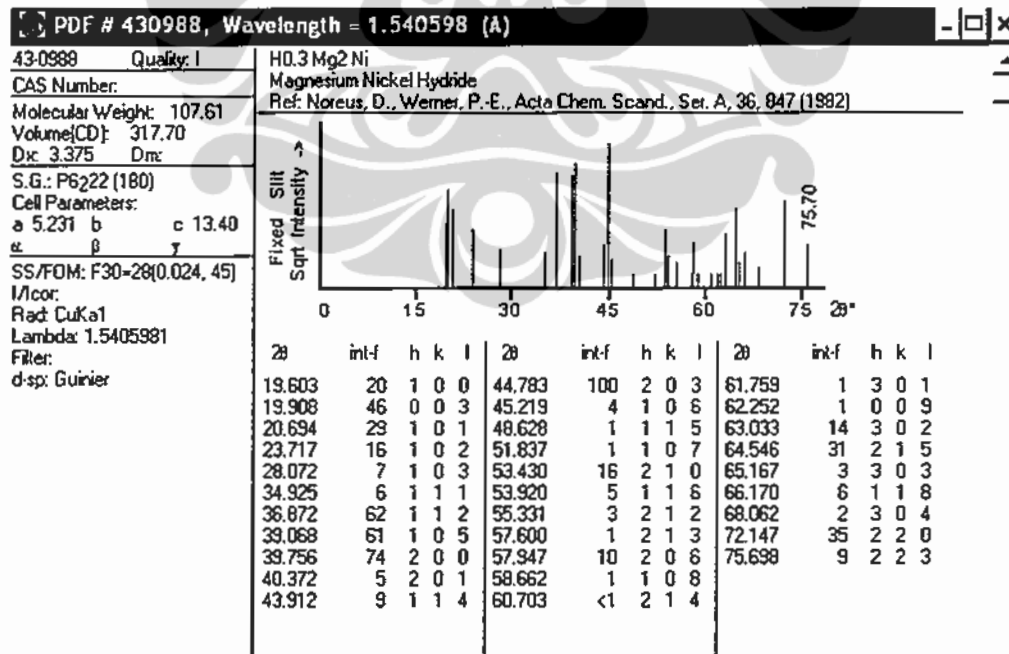
JPDS CoO

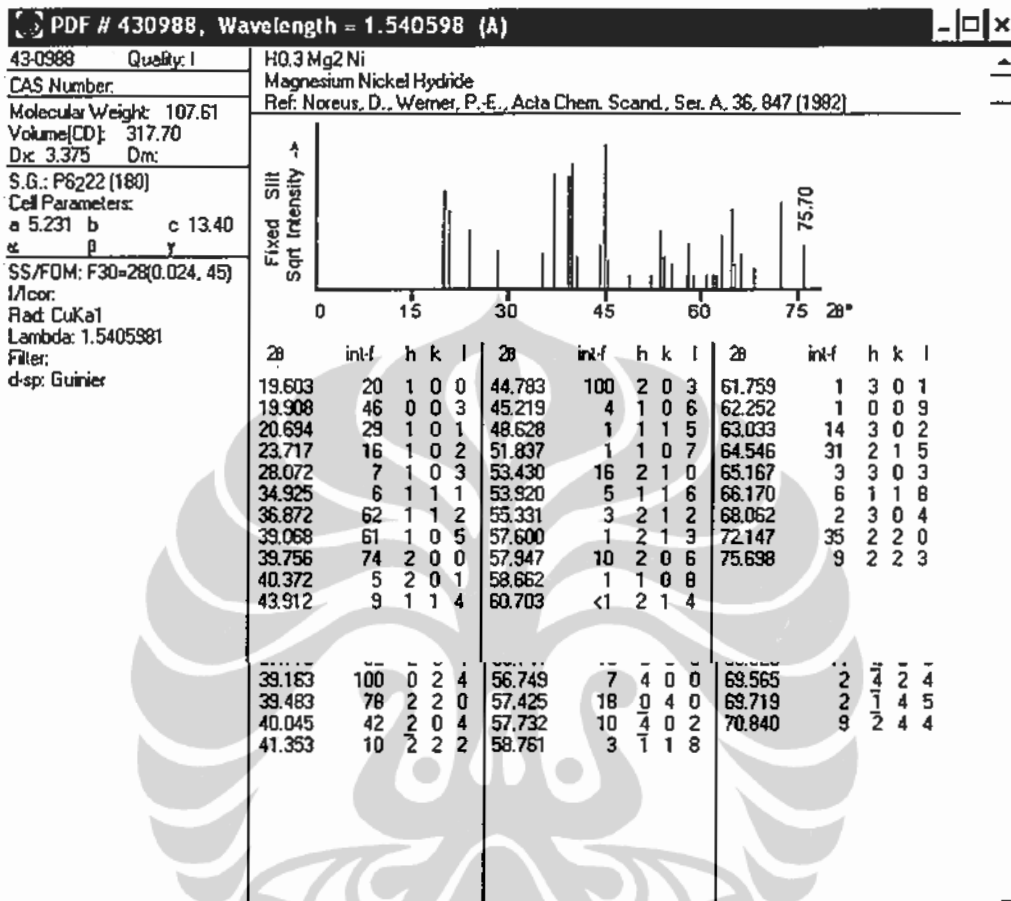


JCPDS Mg₂NiJCPDS MgNi₂

JCPDS Mg₂CoJCPDS MgCo₂

JCPDS MgH₂JCPDS β-MgH₂

JCPDS γ -MgH₂JCPDS Mg₂NiH_{0.3}

JCPDS Mg₂NiH₄

Lampiran 4. Data kristalografi

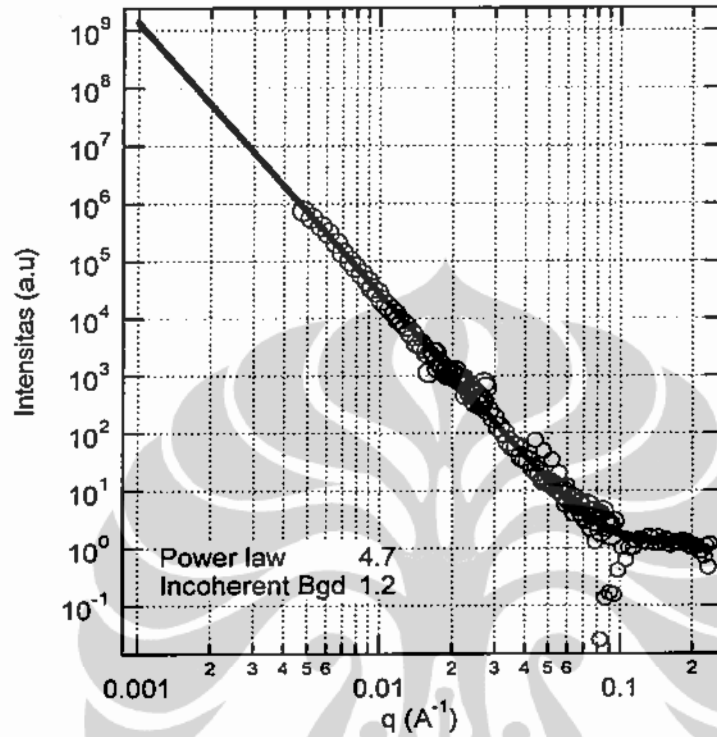
Fasa	Grup Ruang	Parameter Kisi (Å)	Sudut	Posisi Atom
Mg	P63/mmc (194)	a = 3,20944 c = 5,21076	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	{ 1/3, 1/3, 1/4 }
Co	P63/mmc (194)	a = 2,506 c = 4,069	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	{ 1/3, 1/3, 1/4 }
Ni	Fm3m (225)	a = 3,535	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	{0, 0, 0}
Mg ₂ Ni	P6222 (180)	a = 5,2107 c = 13,2437	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Mg1 {1/2, 0, 0.1158} Mg2 {0.1626, 0.3252, 0} Ni1 {0, 0, 1/2} Ni2 {1/2, 0, 1/2}
MgNi ₂	P63/mmc (194)	a = 4,824 c = 15,826	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Mg1 {0, 0, 0.094} Mg2 {1/3, 2/3, 0.84417} Ni1 {1/3, 2/3, 0.12514} Ni2 {1/2, 0, 0} Ni3 {0.16429, 0.32858, 1/4}
MgO	Fm3m (225)	a = 4,2114	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Mg {0,0,0} O {1/2,1/2,1/2}
NiO	Fm3m (225)	a = 4,177	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ni {0,0,0} O {1/2,1/2,1/2}
CoO	Fm3m (225)	a = 4,26	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Co {0,0,0} O {1/2,1/2,1/2}
CoNi	Fm3m (225)	a = 3,534	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Co ₃ Ni	P63/mmc (194)	a = 2,504 c = 4,065	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	
Mg ₂ Co	Fd3-ms (227)	a = 11,434	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Mg {0.2959, 0, 0} Co1 {5/8, 5/8, 5/8} Co2 {0.372, 0.372, 0.372}
MgCo ₂	P63/mmc (194)	a = 4,859 c = 8,954	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Mg {1/3, 2/3, 0.06299} Co1 {0, 0, 0} Co2 {0.83053, 0.66106, 1/4}

$\text{Mg}_3\text{Co}_2\text{Ni}_4$	R3m (166)	$a = 4,839$ $c = 35,54$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	
MgCoNi .	P63/mmc (194)	$a = 4,848$ $c = 7,889$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Mg $\{1/3, 2/3, 0.0063\}$ Co $\{0, 0, 0\}$ Ni $\{0.833, 2/3, 1/4\}$

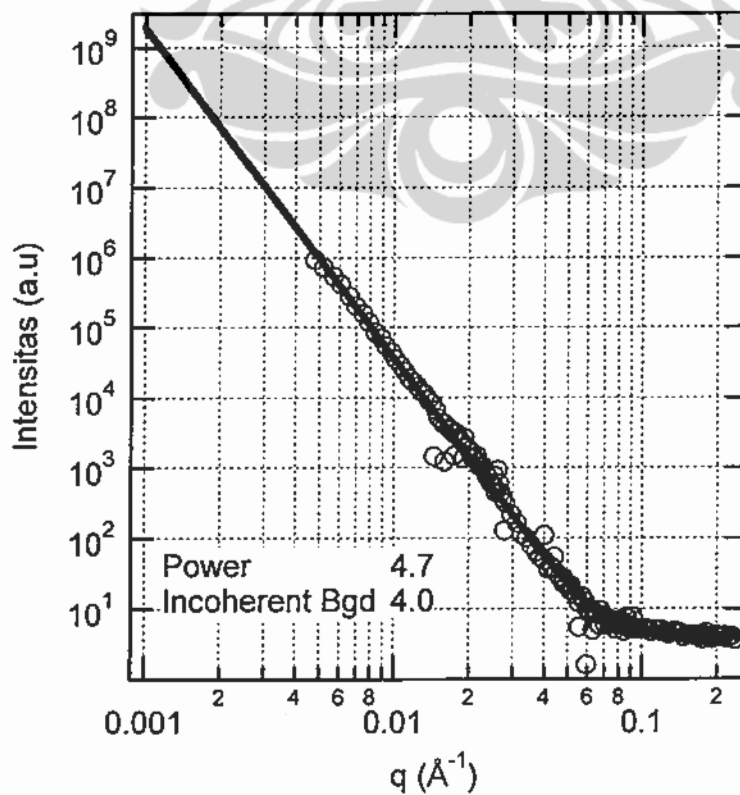


Lampiran 5 Perhitungan gradient dari analisa SANS

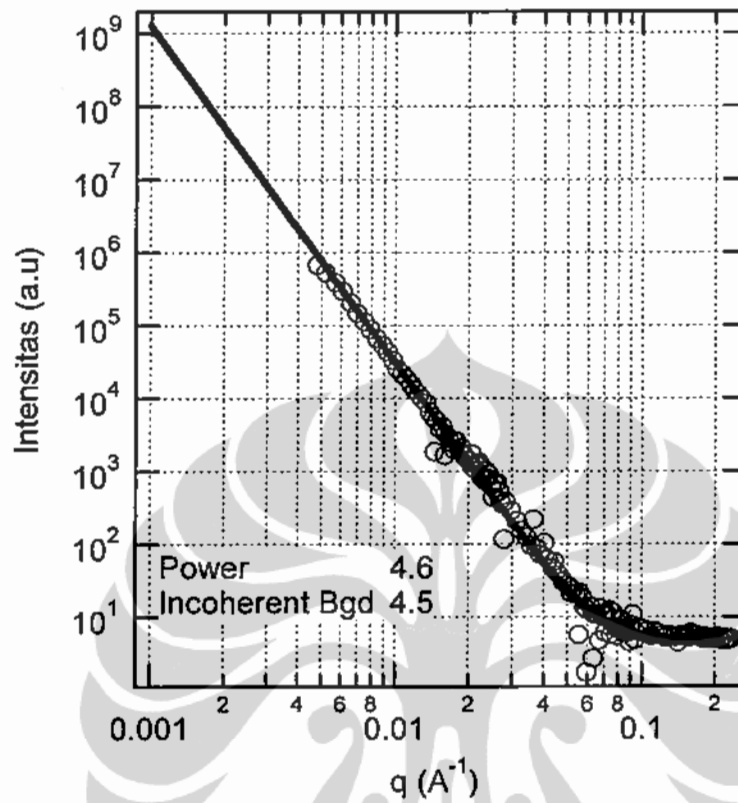
1. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 0 jam_rasio 1:1



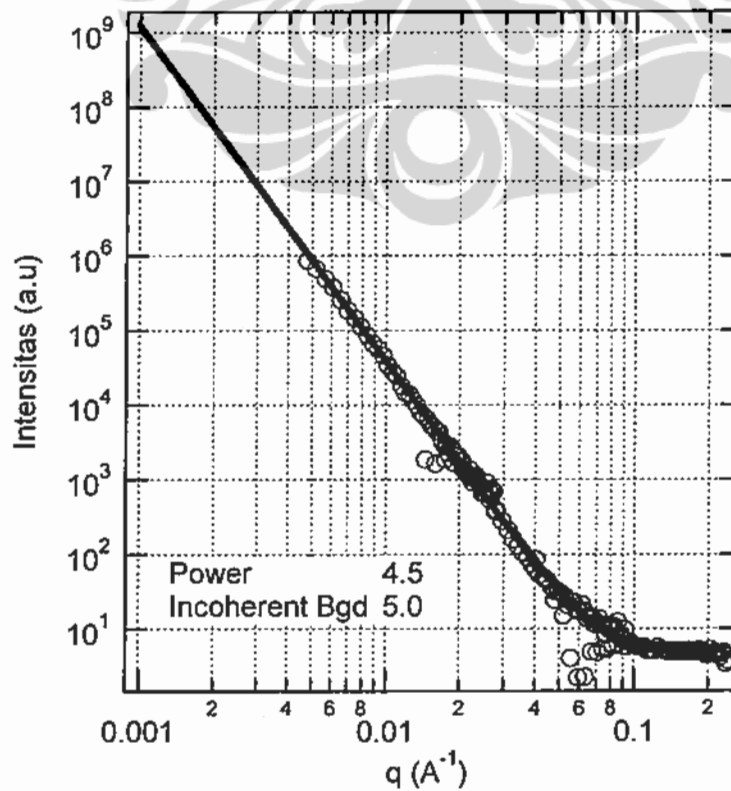
2. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 5 jam_rasio 1:1



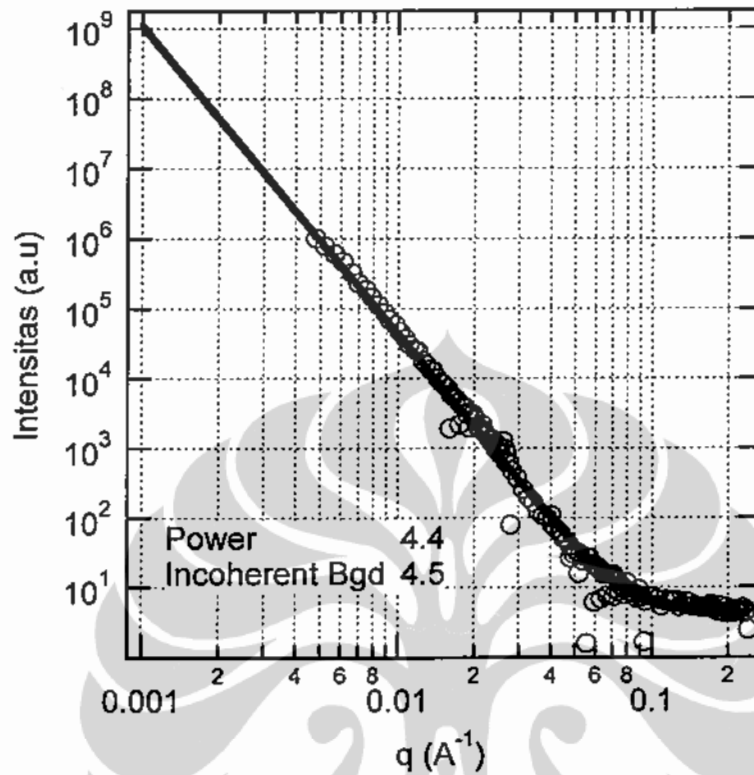
3. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _10 jam_rasio 1:1



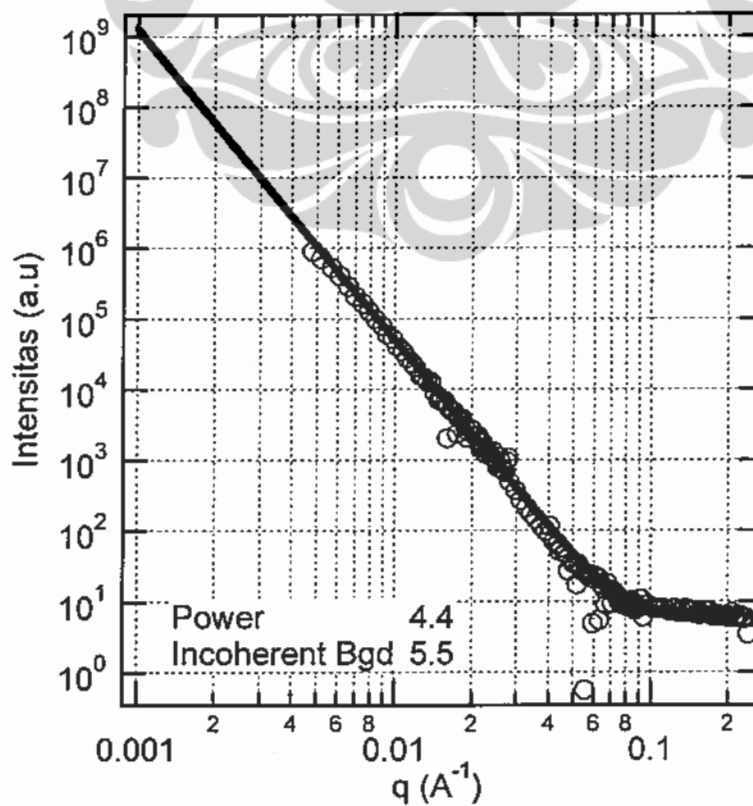
4. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _15 jam_rasio 1:1



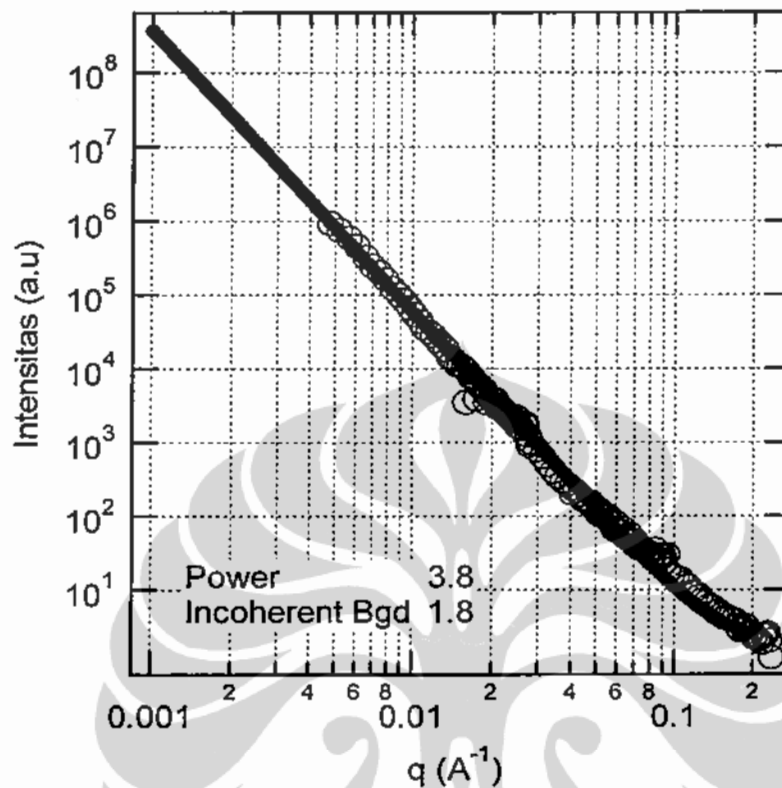
5. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _20 jam_rasio 1:1



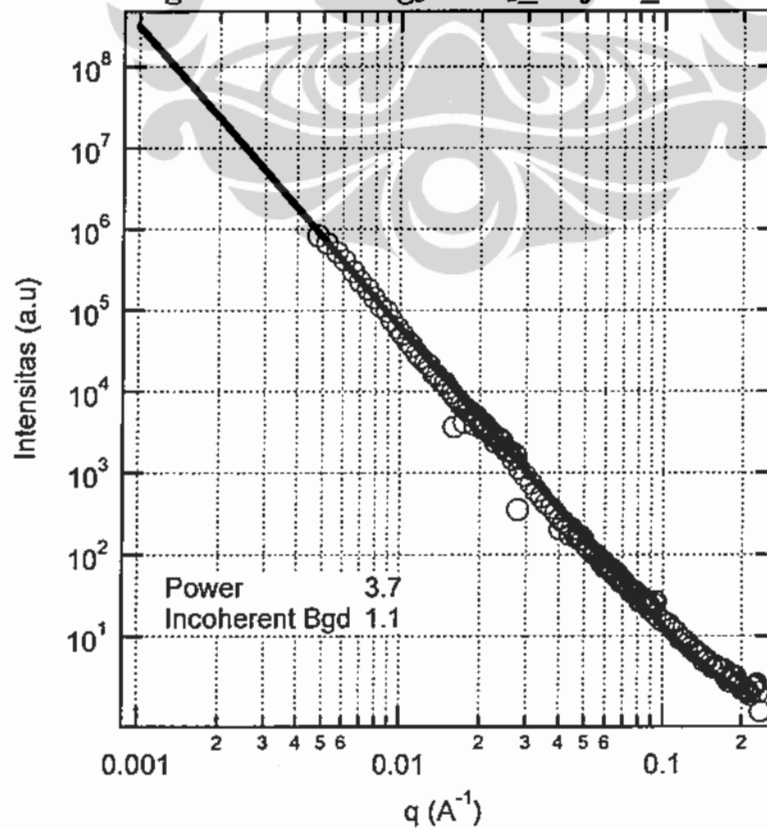
6. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _40 jam_rasio 1:1



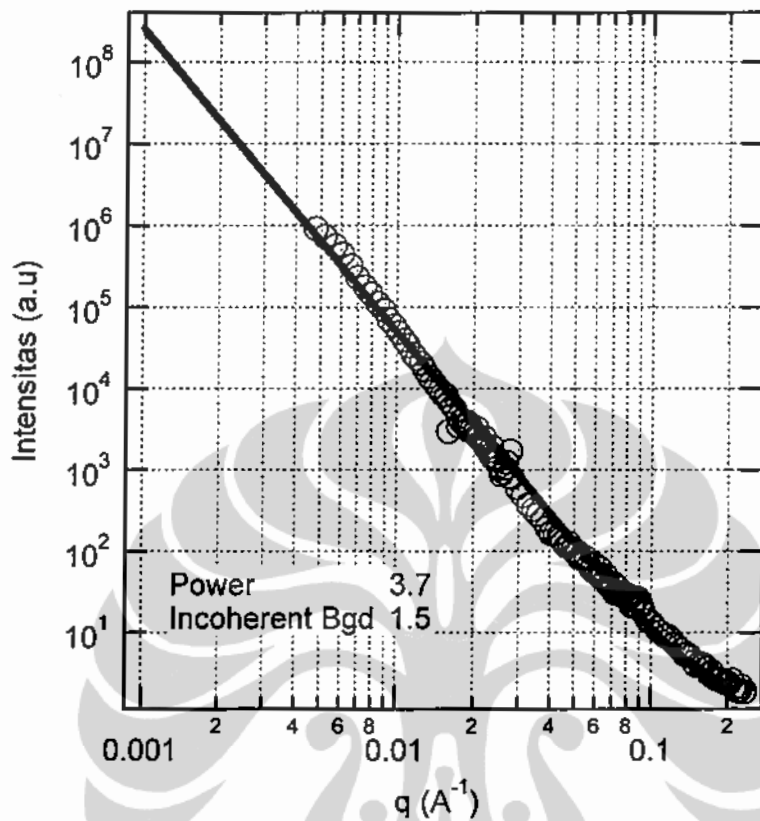
7. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _20 jam_rasio 8:1



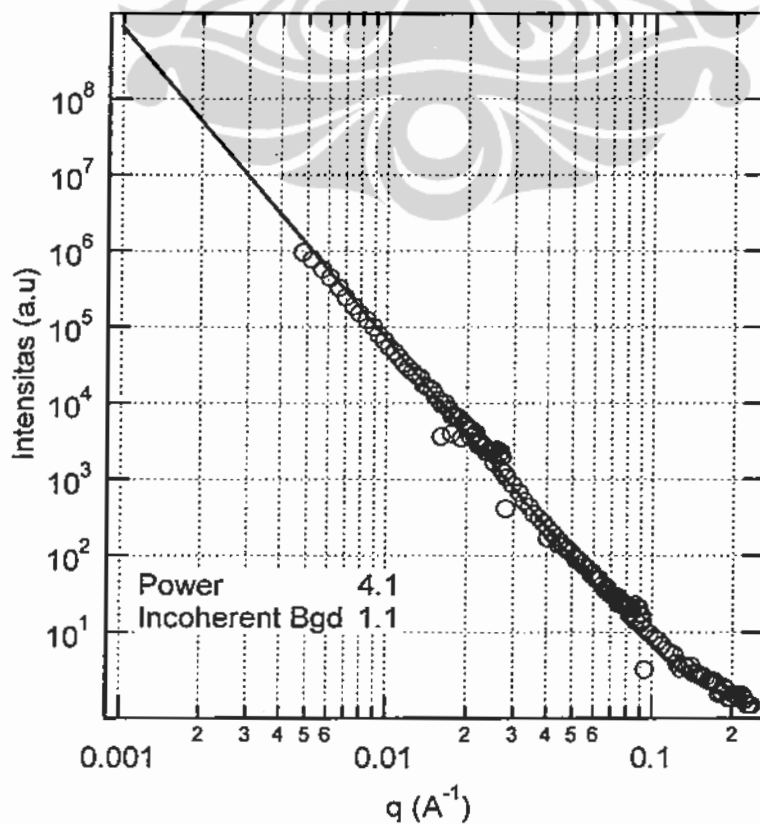
8. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _40 jam_rasio 8:1



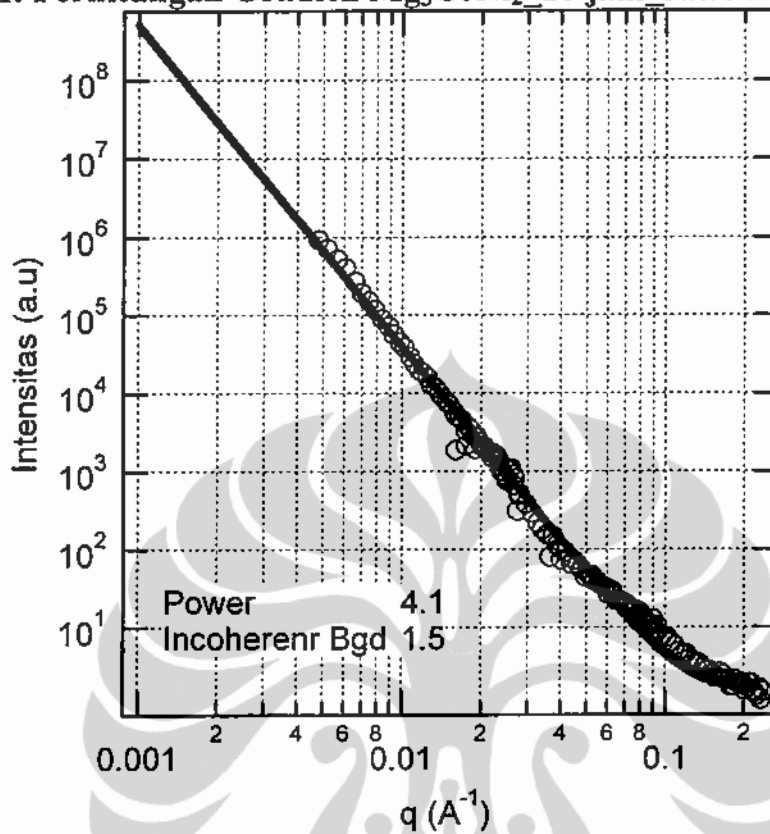
9. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _60 jam_rasio 8:1



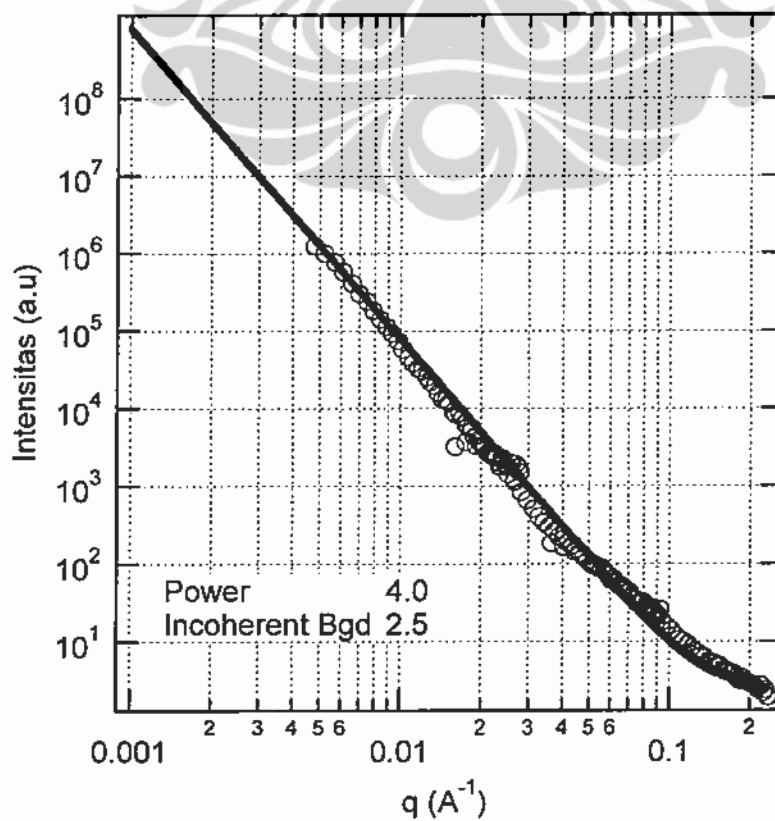
10. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _5 jam_rasio 15:1

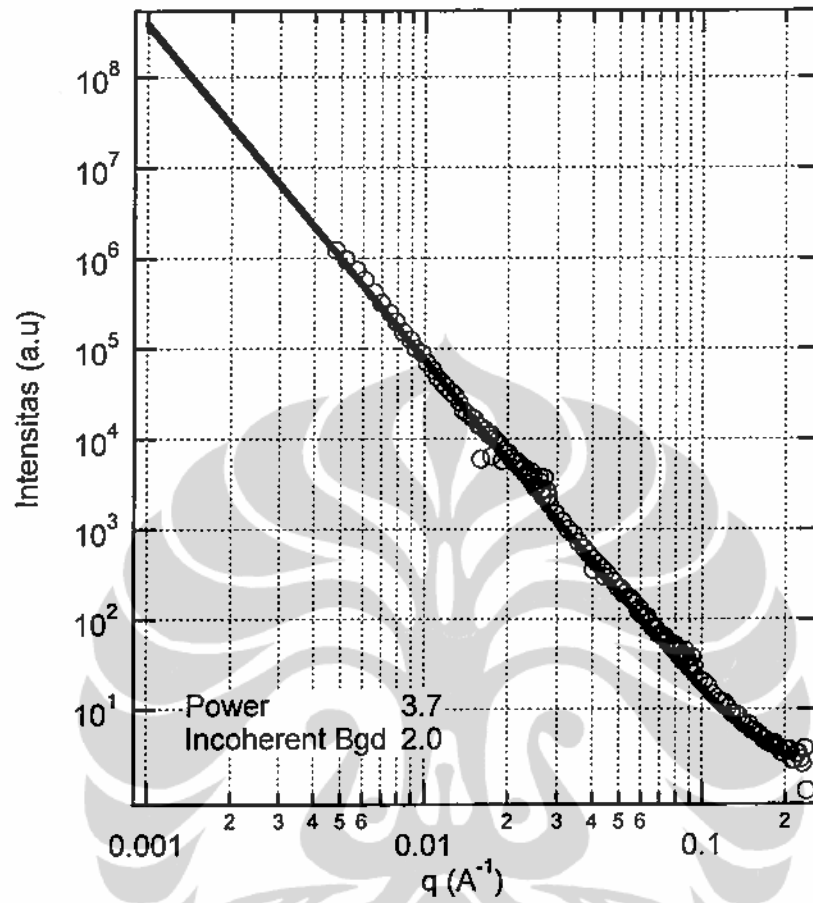


11. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _10 jam_rasio 15:1



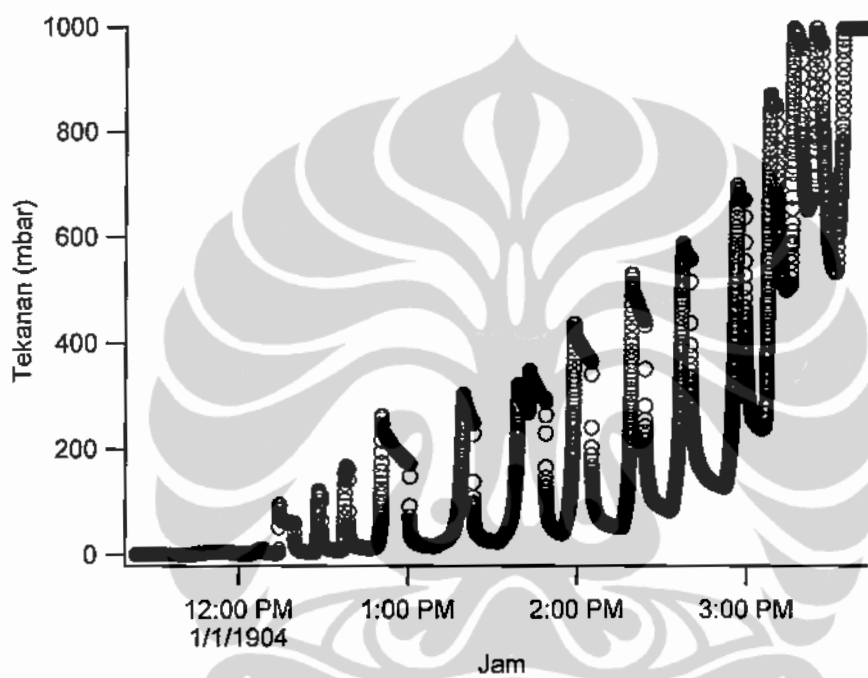
12. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _20 jam_rasio 15:1

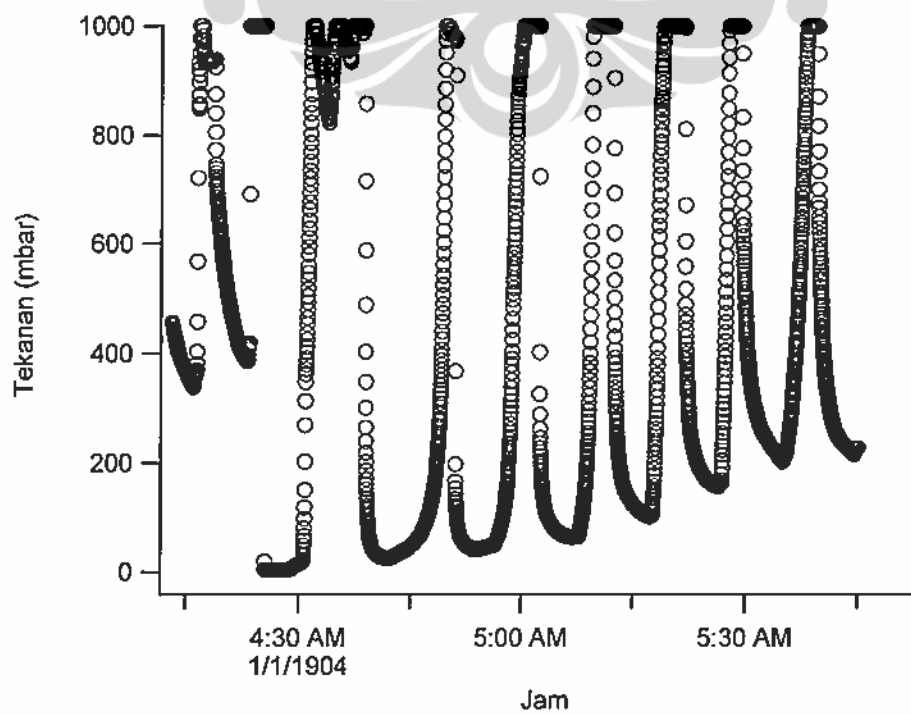
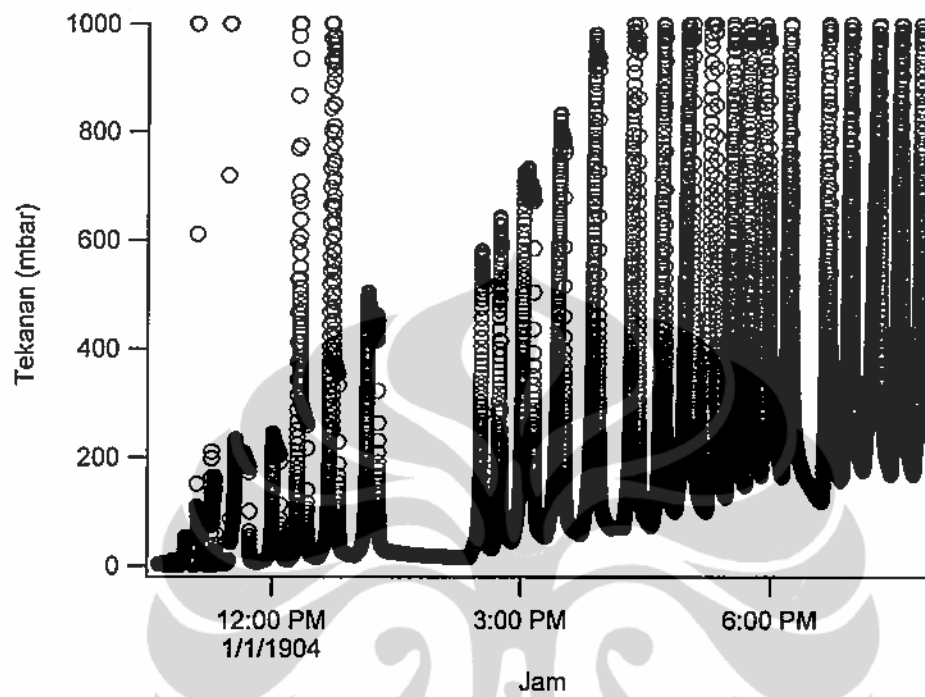


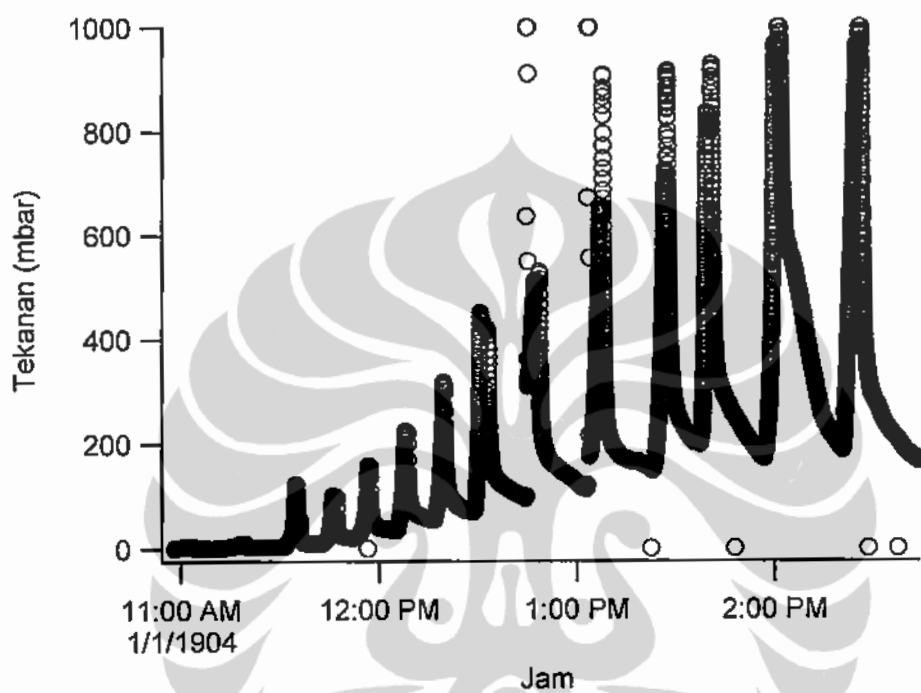
13. Perhitungan Gradien Mg_3CoNi_2 _40 jam_rasio 15:1

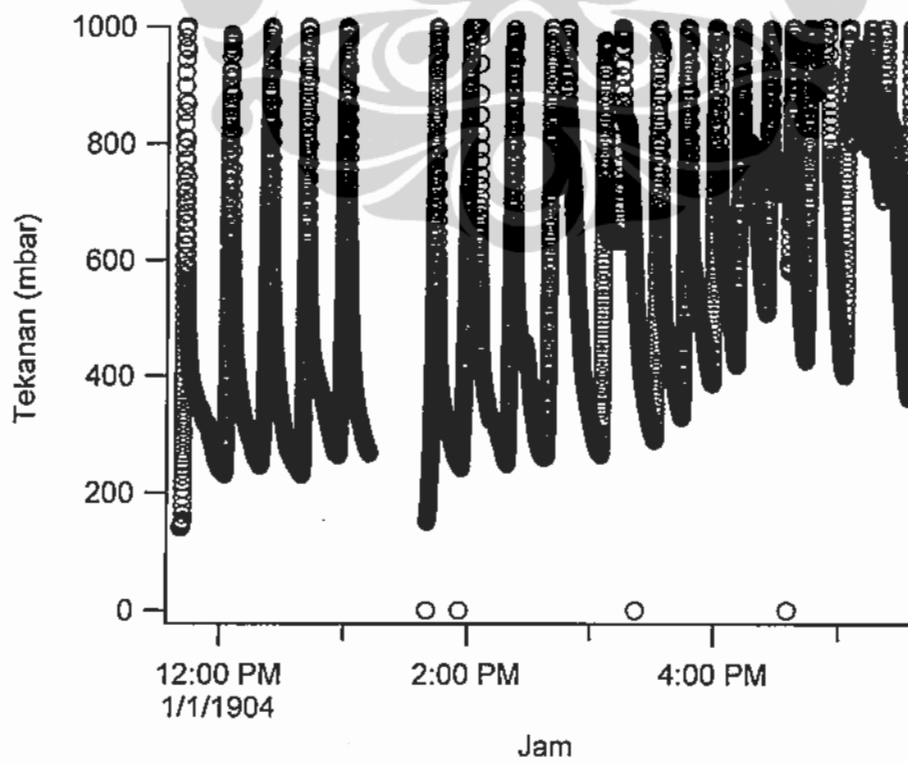
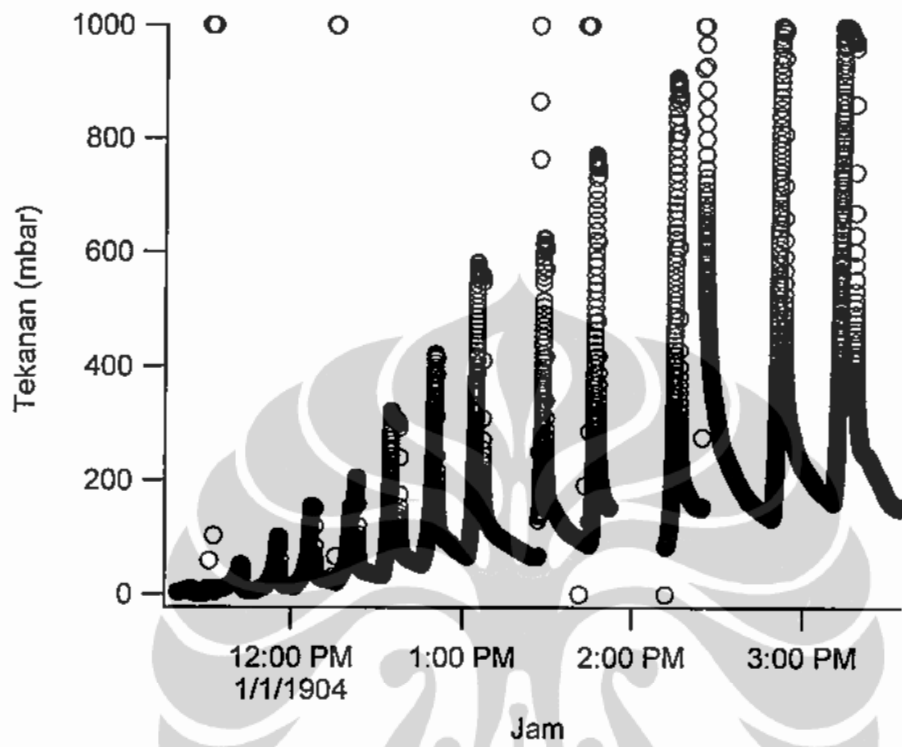
Lampiran 6. Chart Hidriding

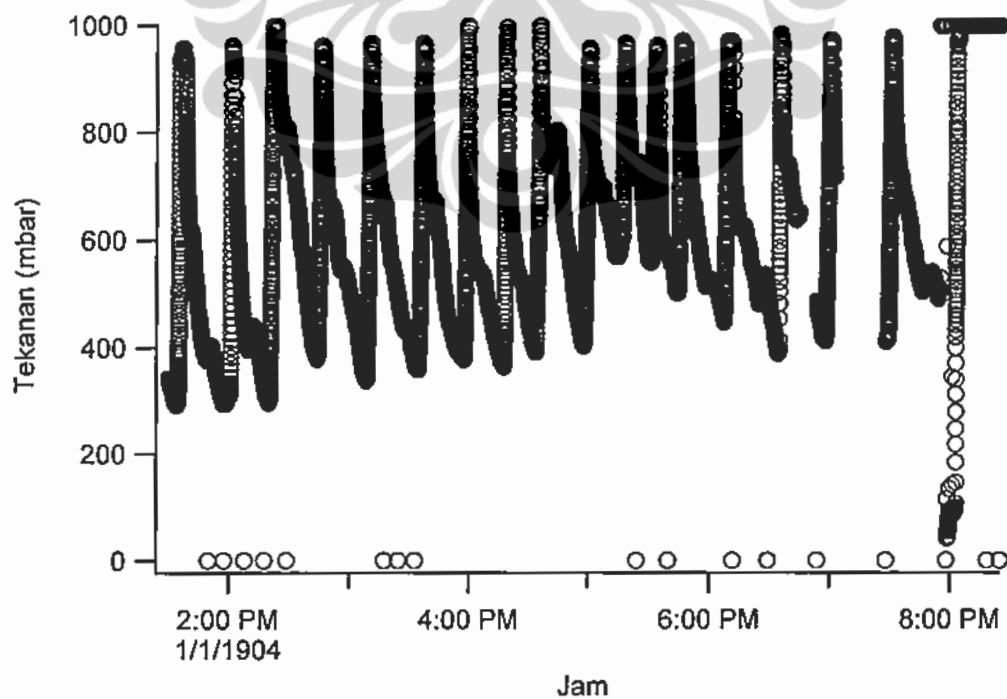
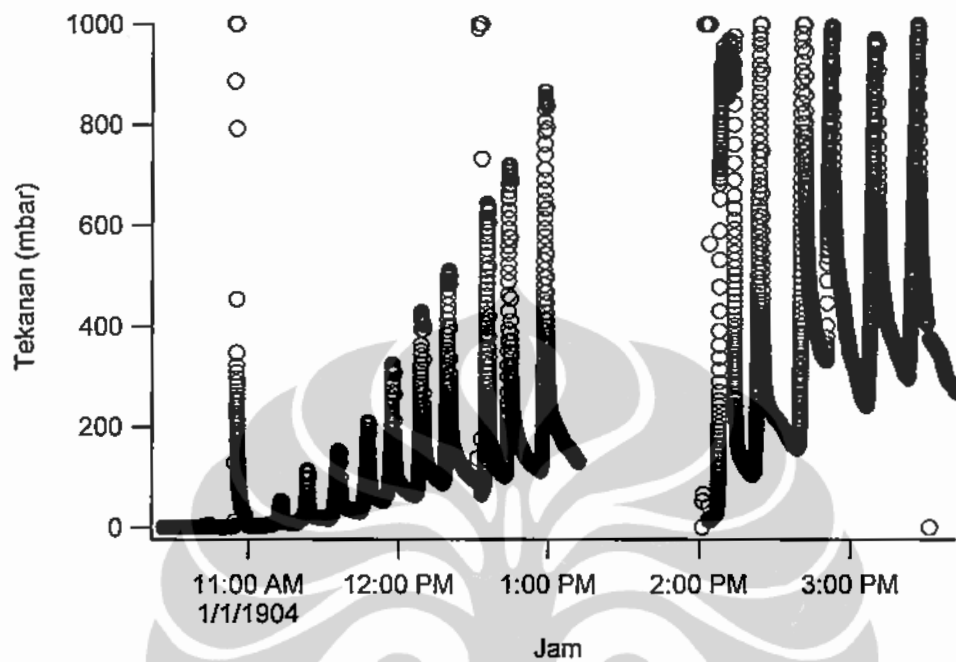
1. Hidriding $Mg_3CoNi_2-20j_{200^\circ C}$ _siklus 1

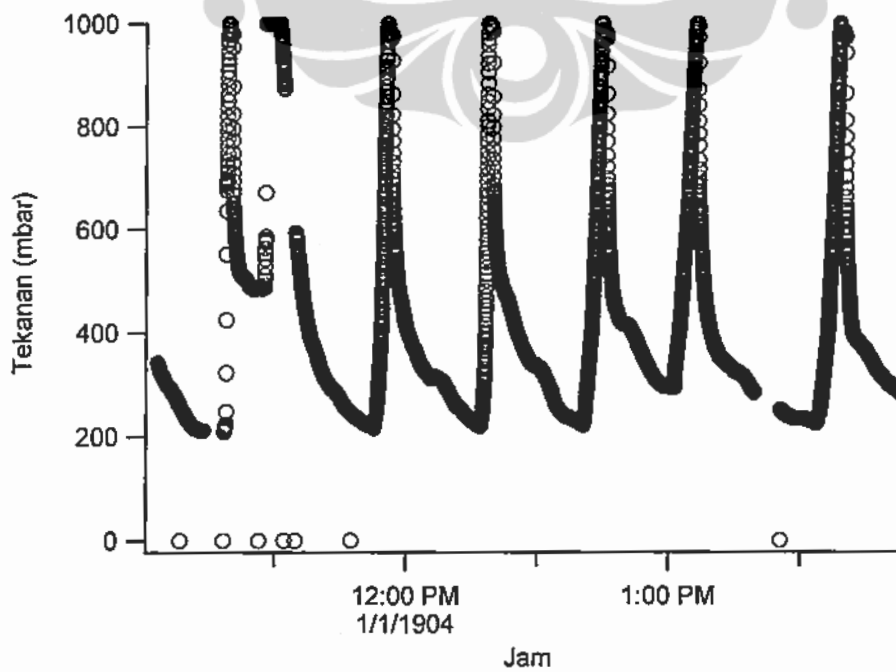
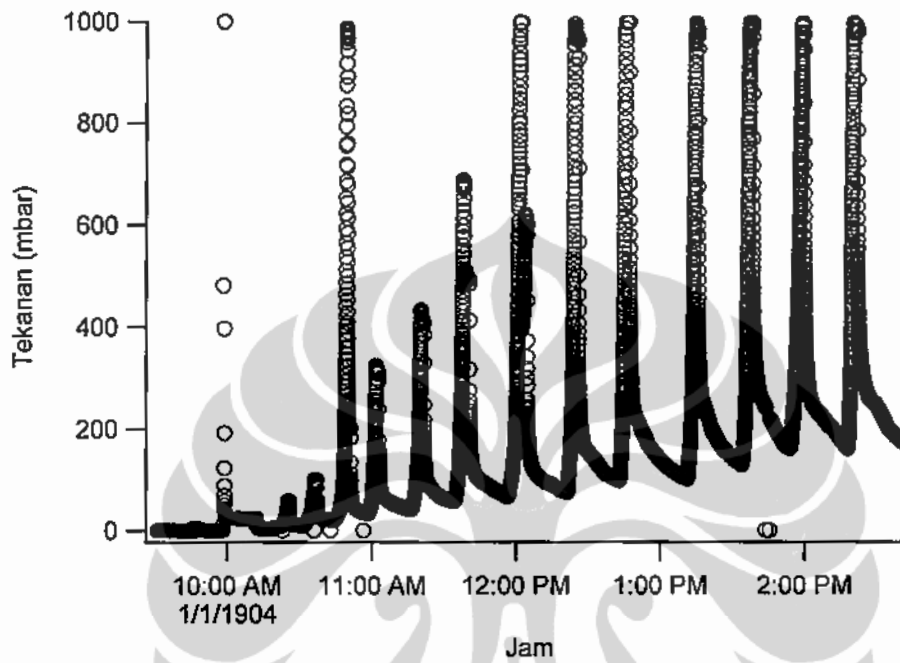


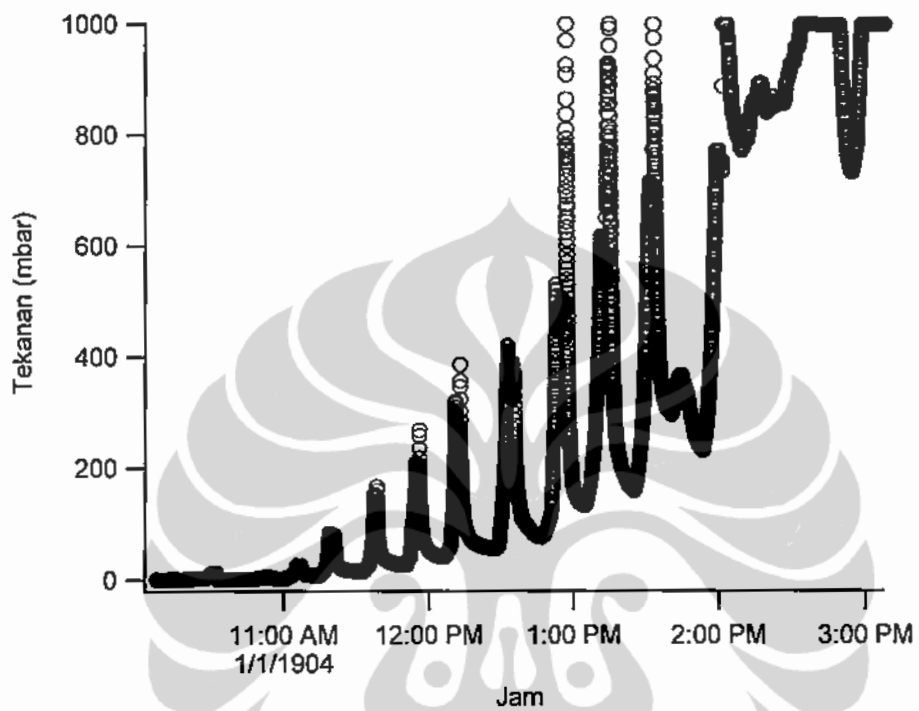
2. Hidriding $Mg_3CoNi_7-20j_{200^\circ C_siklus\ 2}$ 

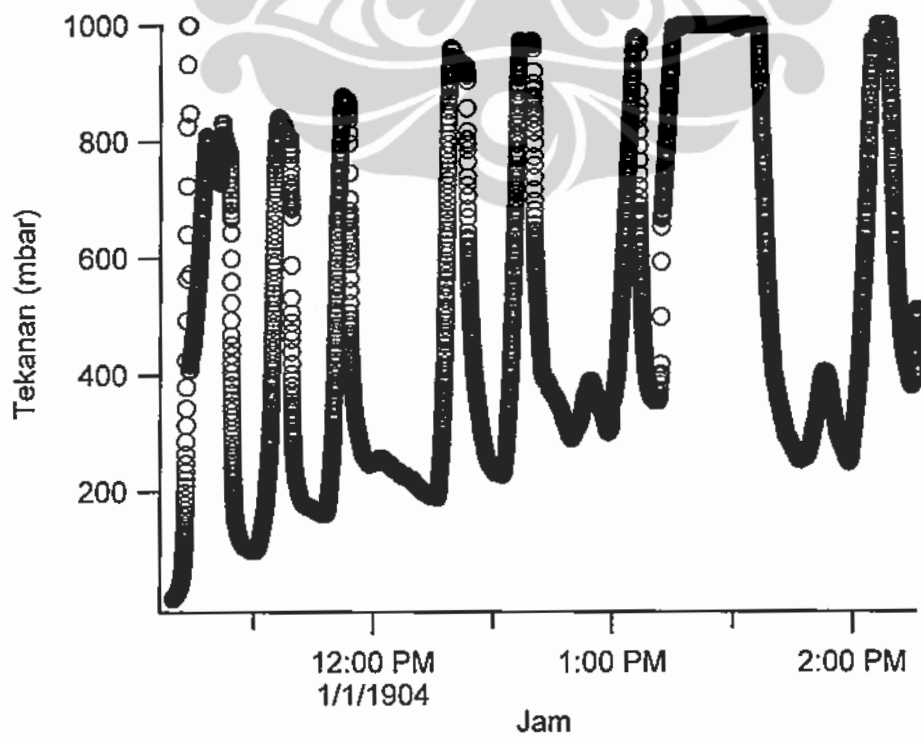
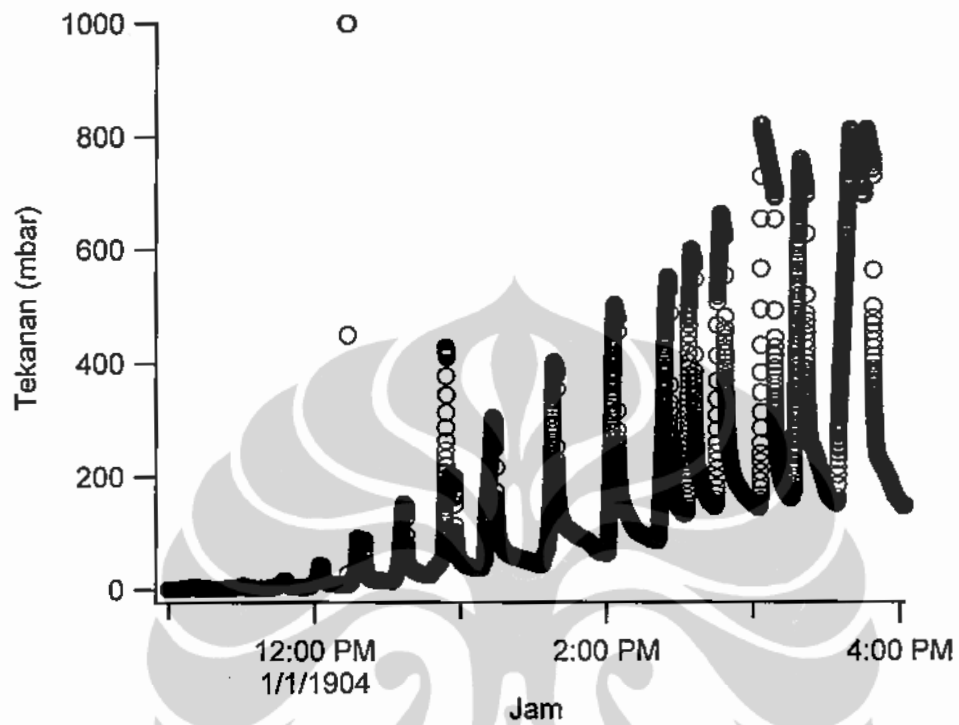
3. Hidriding Mg_3CoNi_2 -20j_250°C_siklus 1

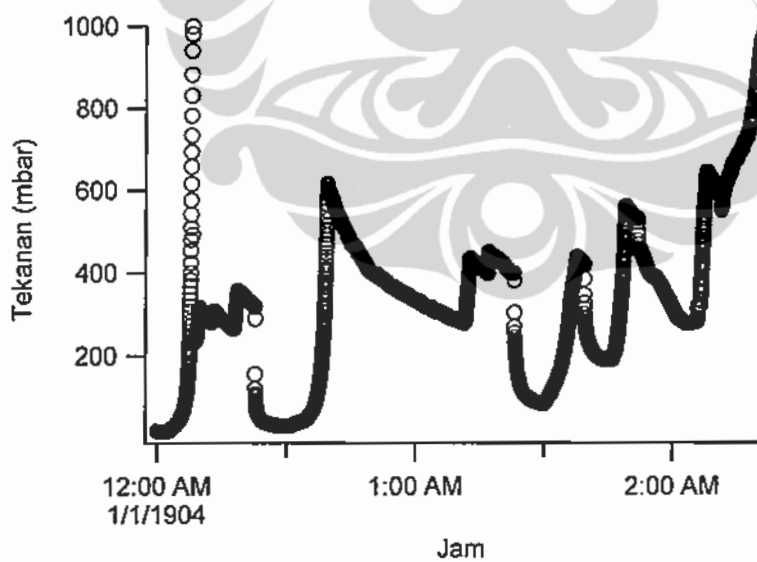
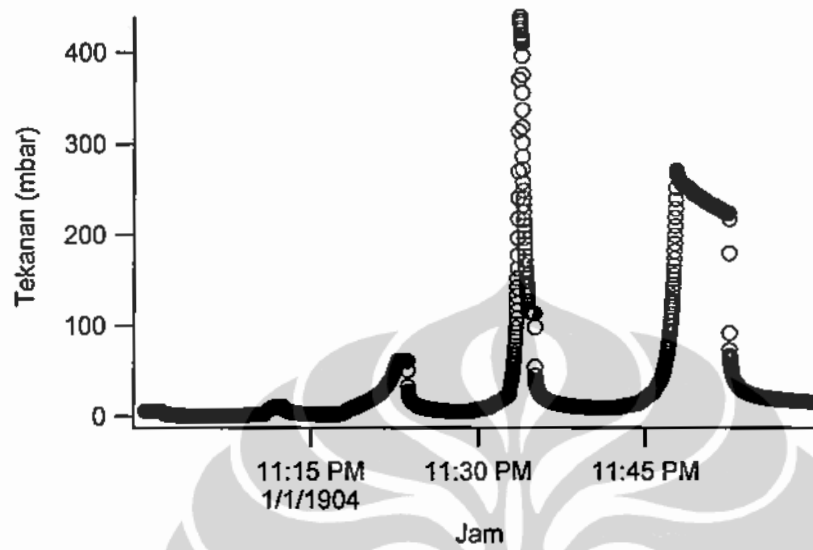
4. Hidriding $Mg_3CoNi_2-20j_{250^\circ C_siklus\ 2}$ 

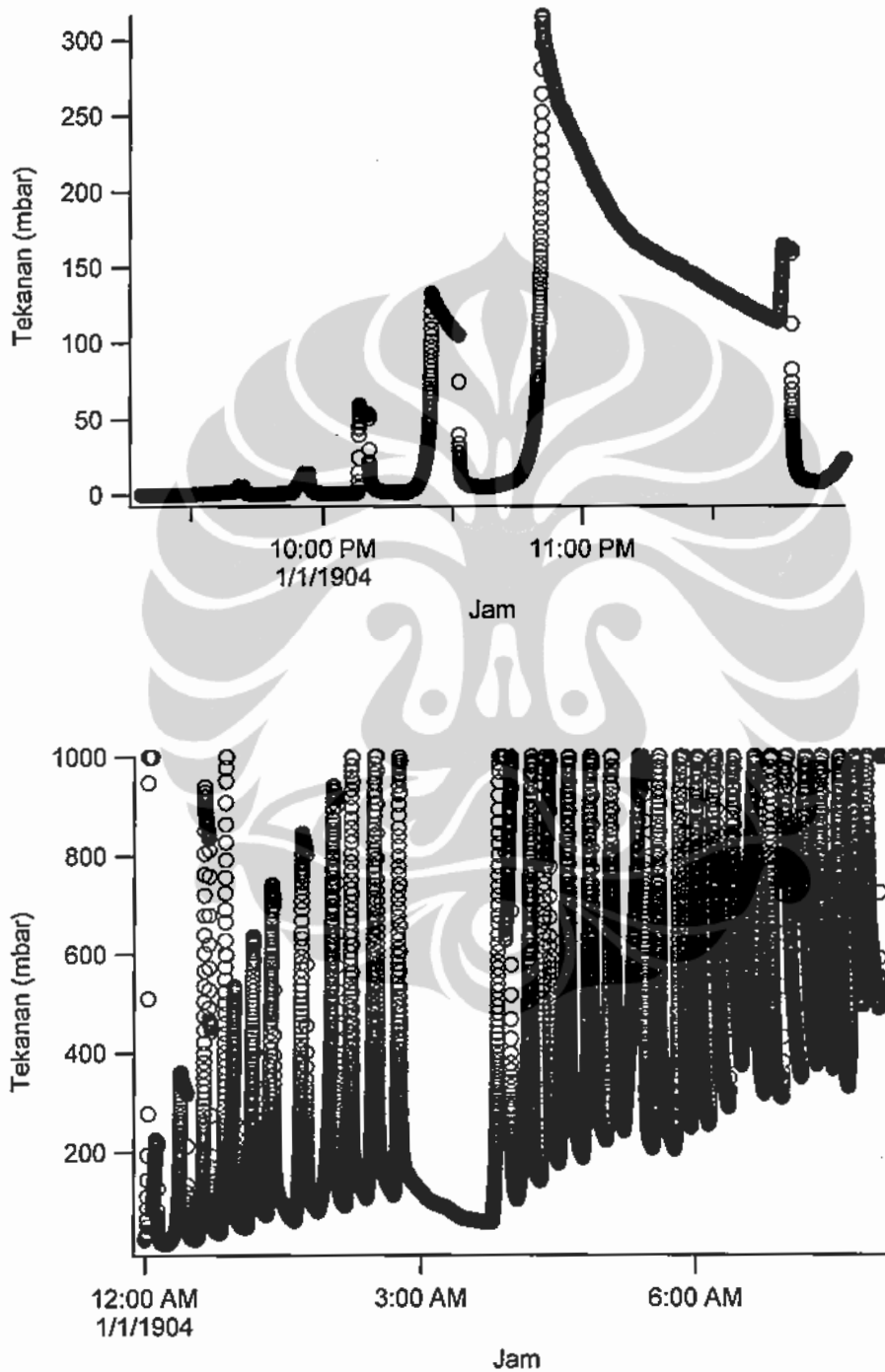
5. Hidriding Mg_3CoNi_2 -20j_250°C_siklus 3

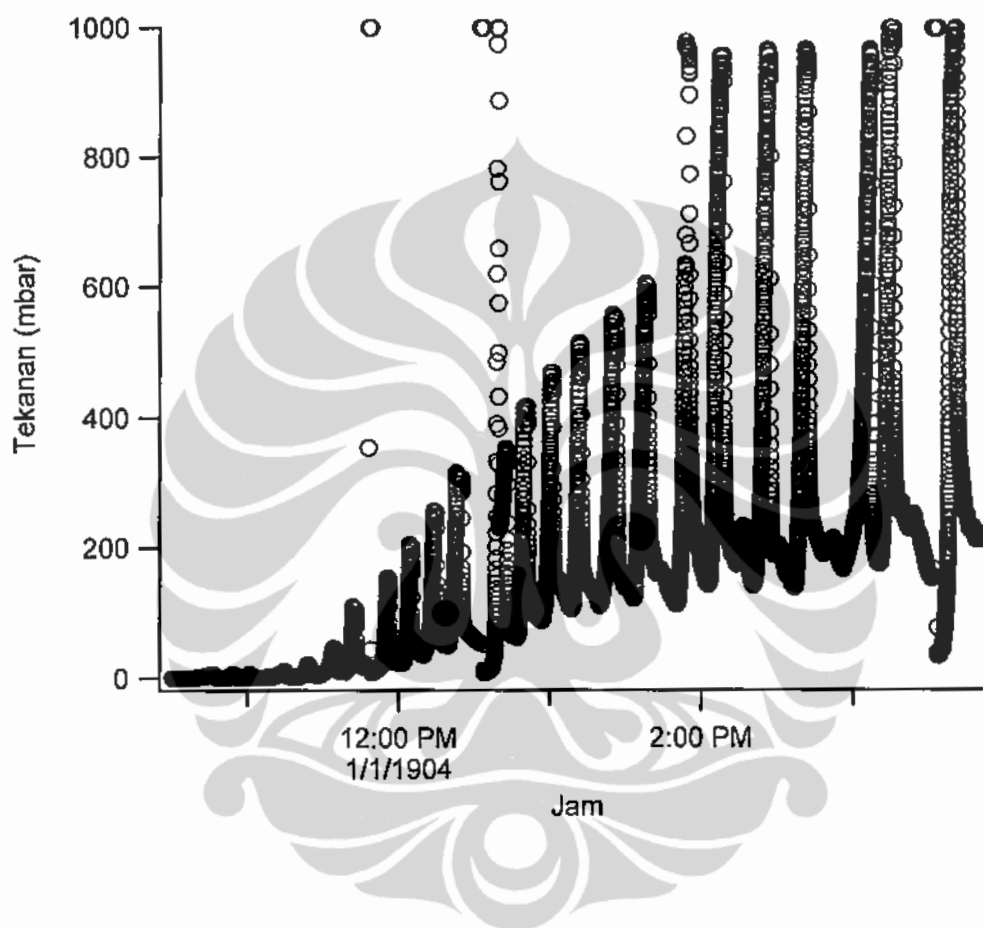
6. Hidriding $Mg_3CoNi_2-20j_{250^\circ C}$ siklus 4

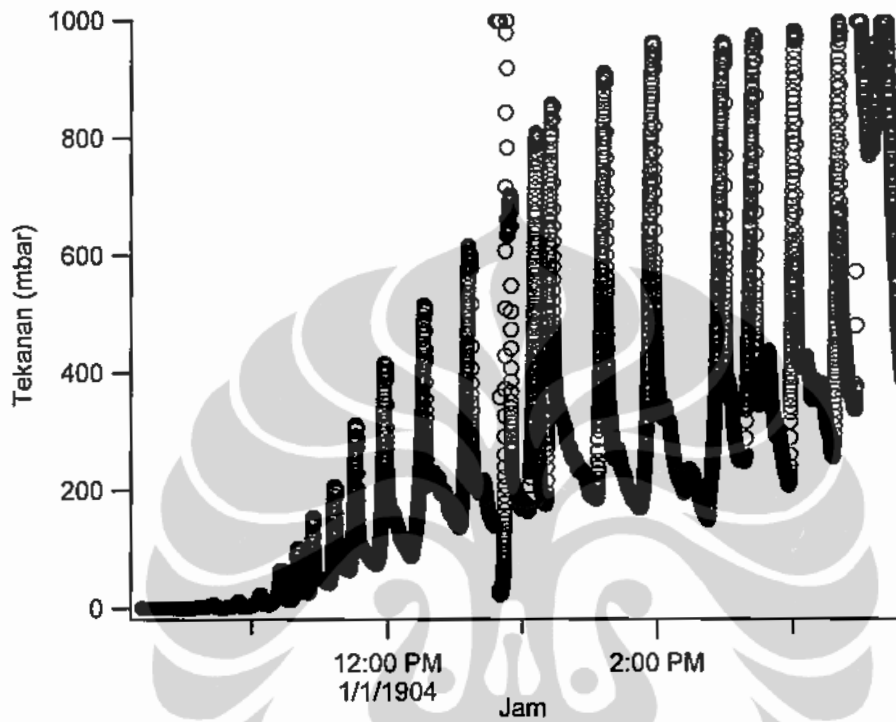
7. Hidriding Mg_3CoNi_2 -20j_300°C_siklus 1

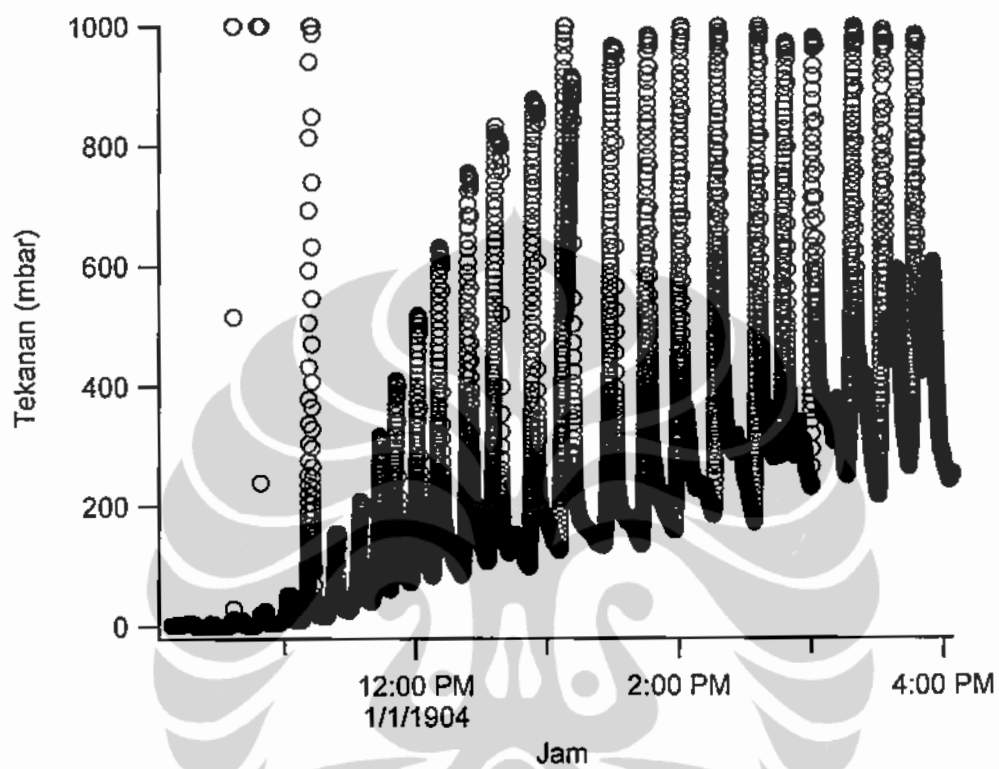
8. Hidriding $Mg_3CoNi_2-20j_{300^\circ C}$ _siklus 2

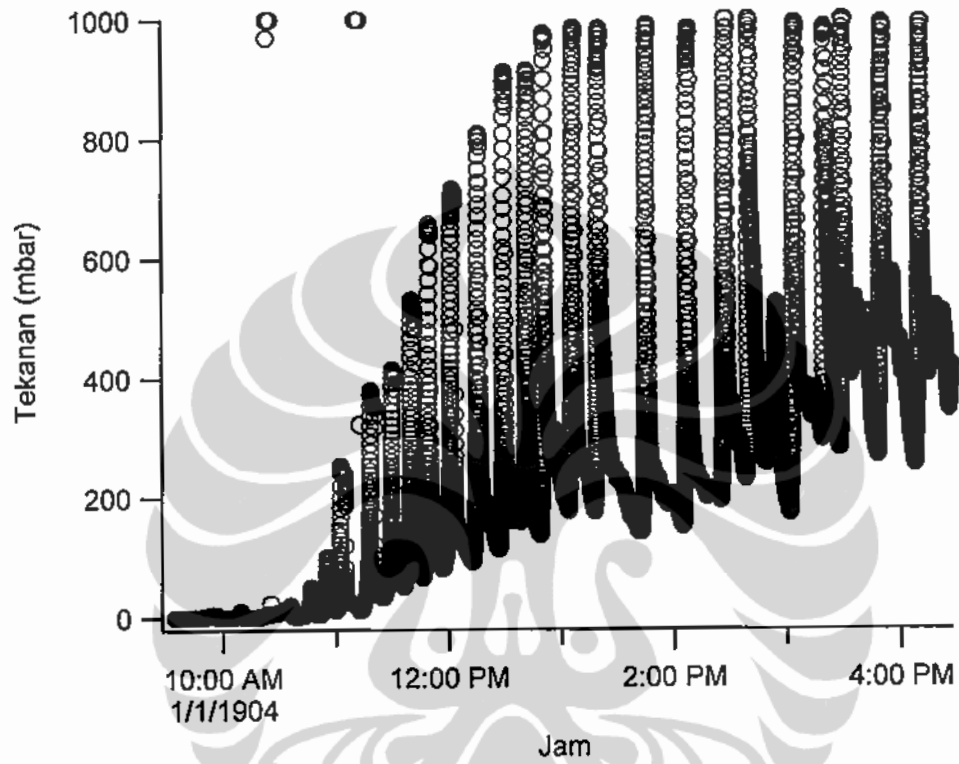
9. Hidriding Mg_3CoNi_2 -30j_200°C_siklus 1

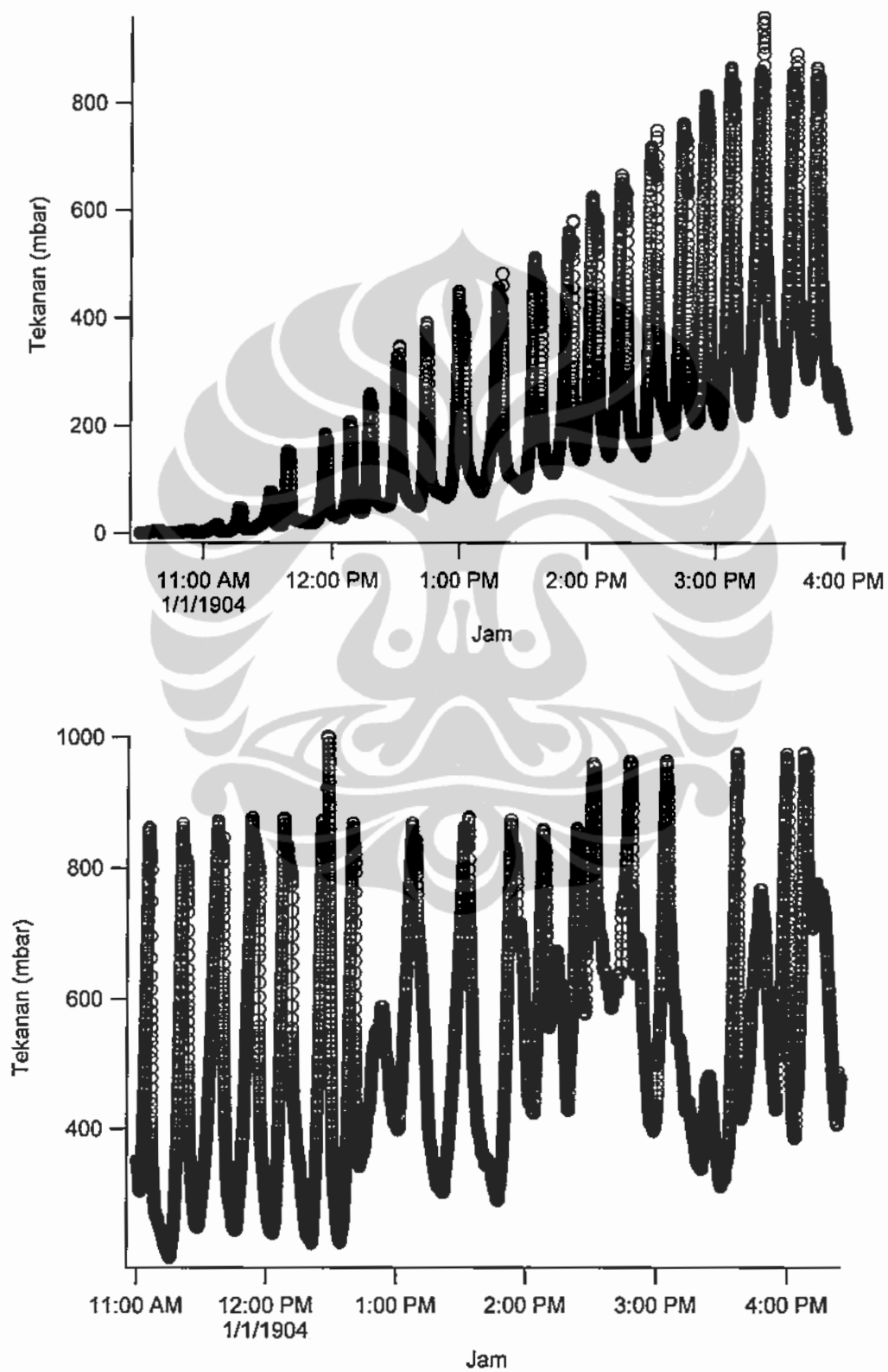
10. Hidriding $Mg_3CoNi_2-30j_{200^\circ C_siklus\ 2}$ 

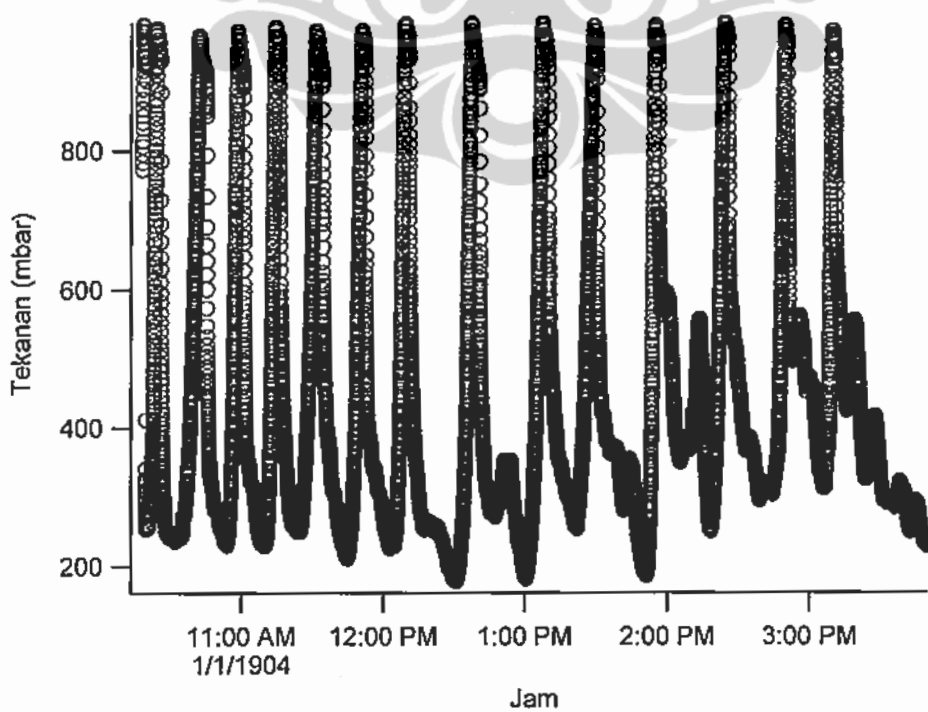
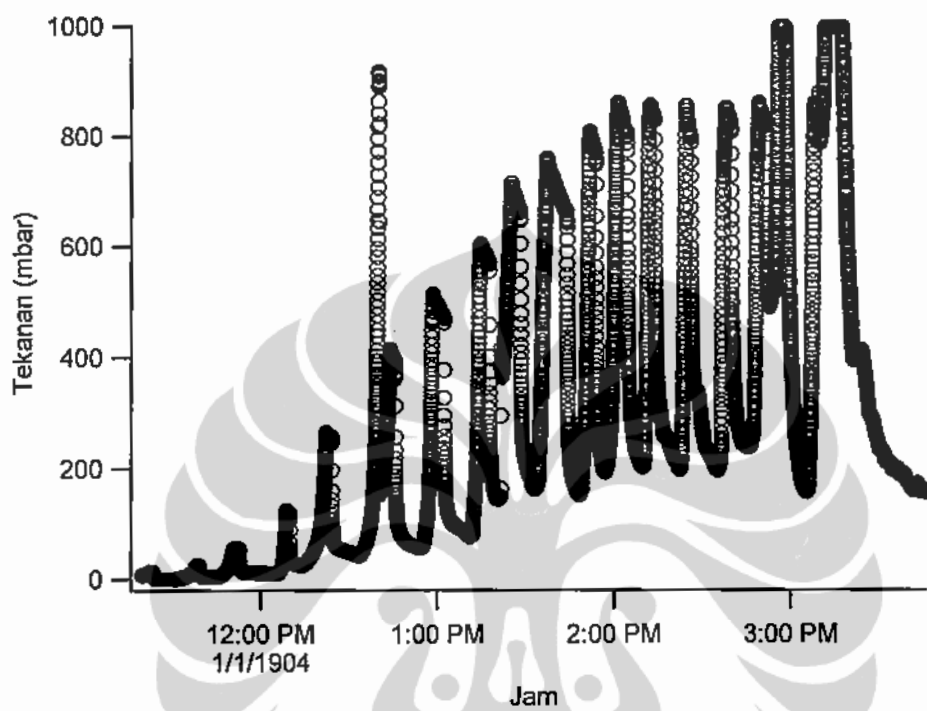
11. Hidriding $Mg_3CoNi_2-30j_{250^\circ C_siklus\ 1}$ 

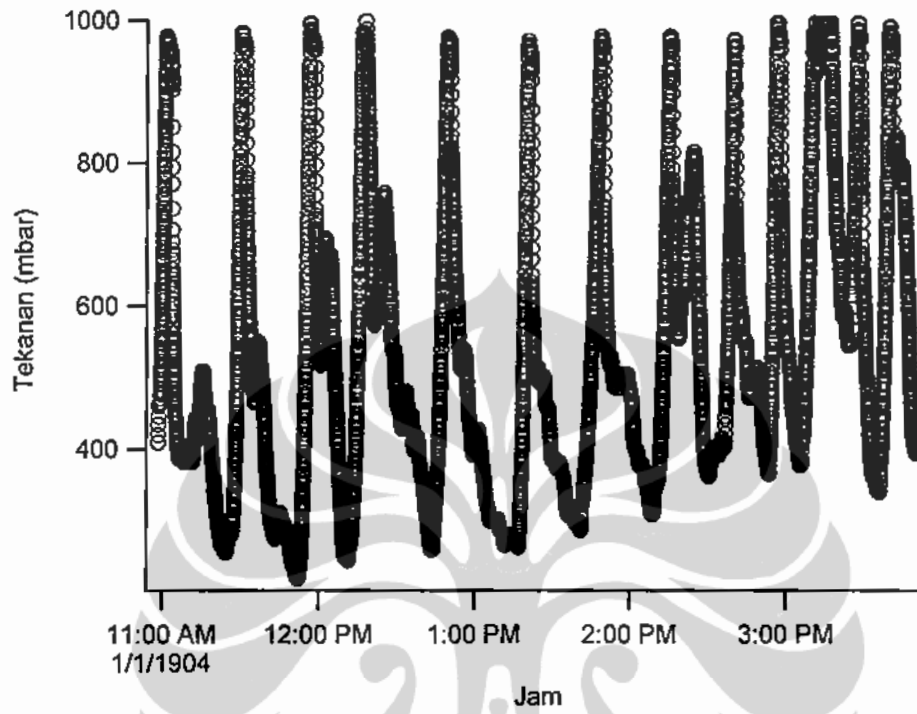
12. Hidriding Mg_3CoNi_2 -30j_250°C_siklus 2

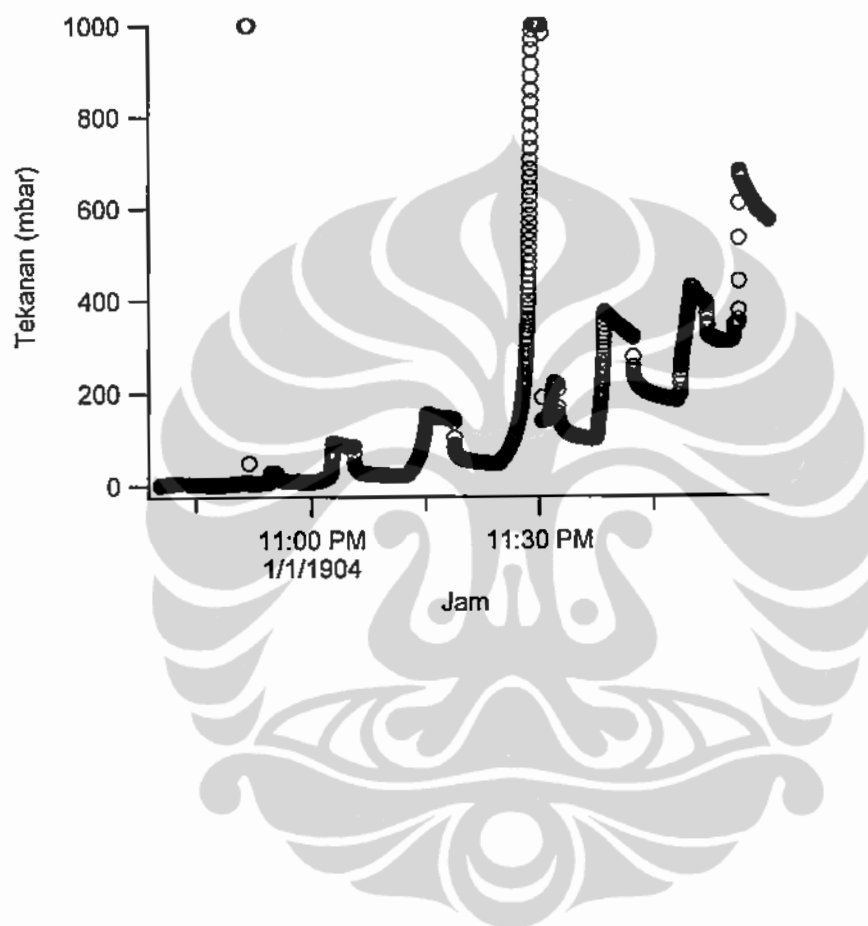
13. Hidriding Mg_3CNi_2 -30j_300°C_siklus 3

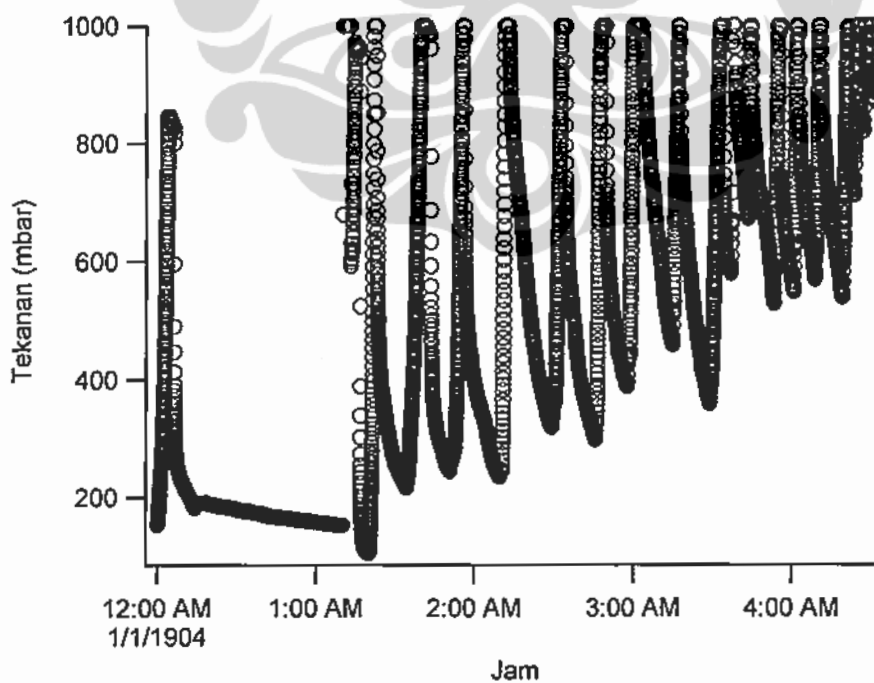
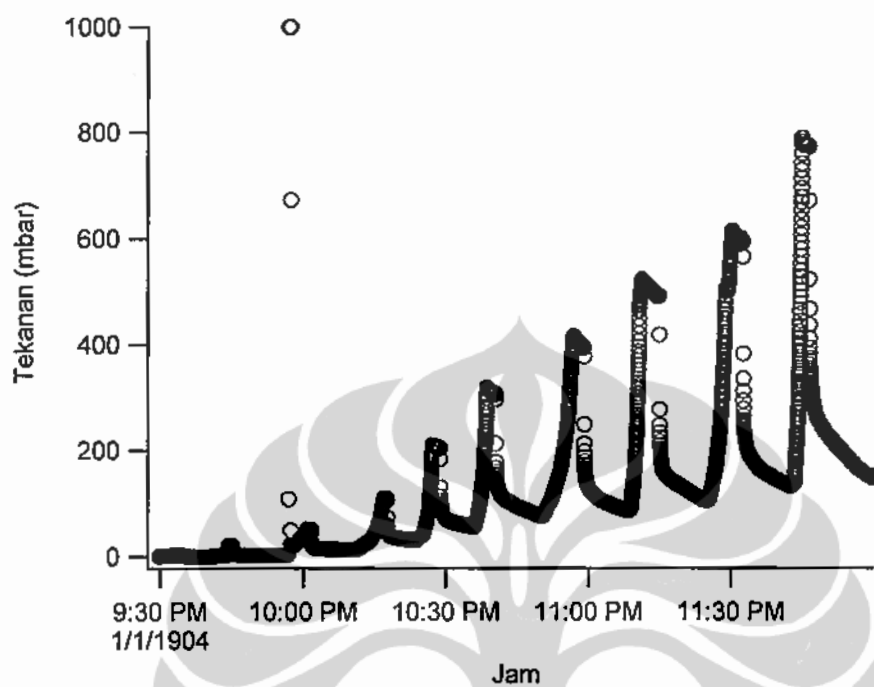
14. Hidriding Mg_3CoNi_2 -30j_250°C_siklus 4

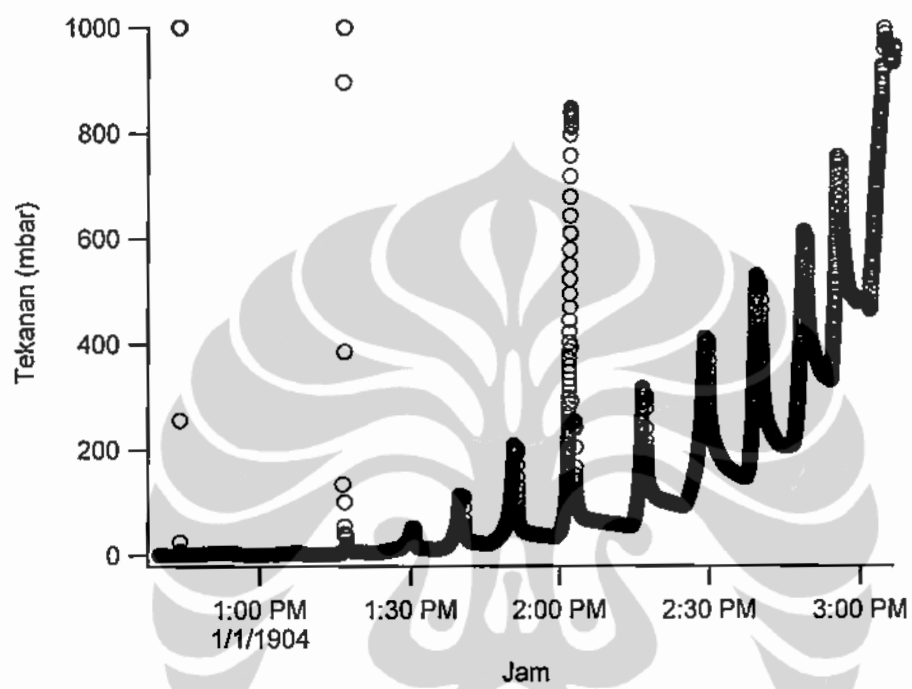
15. Hidriding Mg_3CoNi_2 -30j_300°C_siklus 1

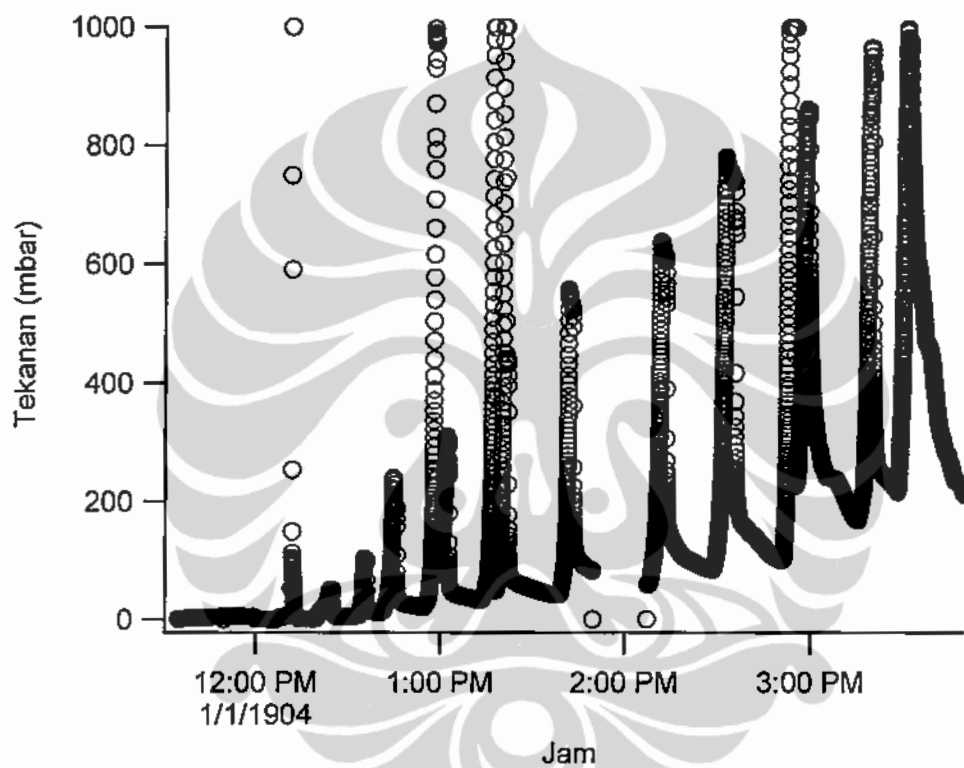
16. Hidriding $Mg_3CoNi_2-30j_{-300^{\circ}C_siklus\ 2}$ 

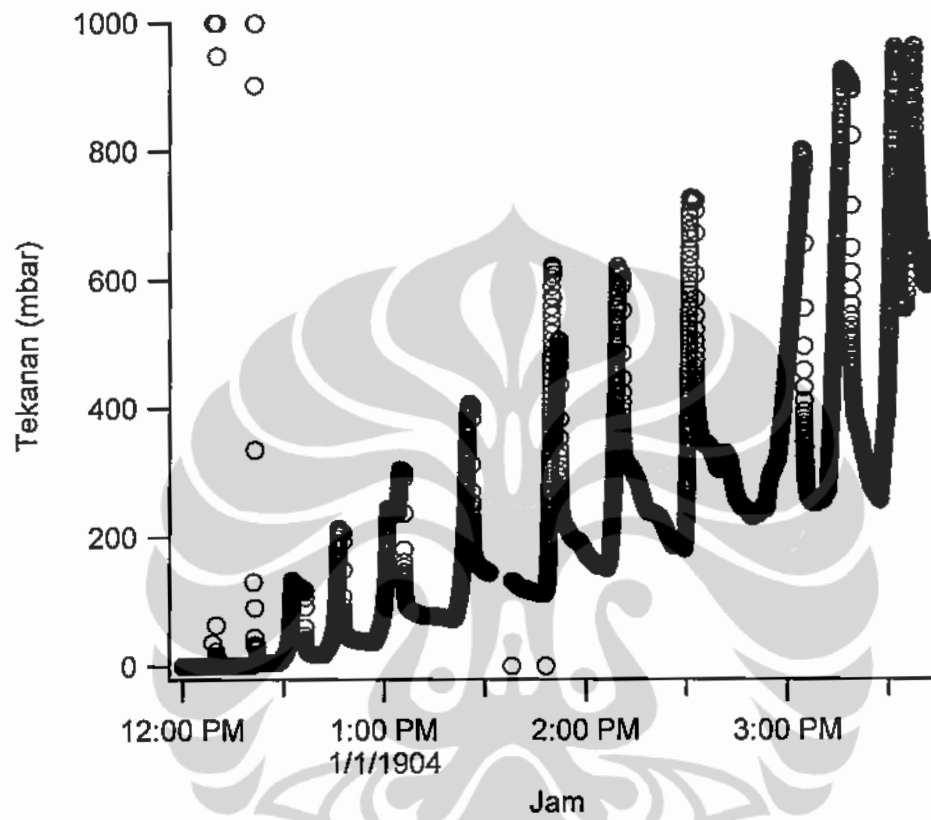


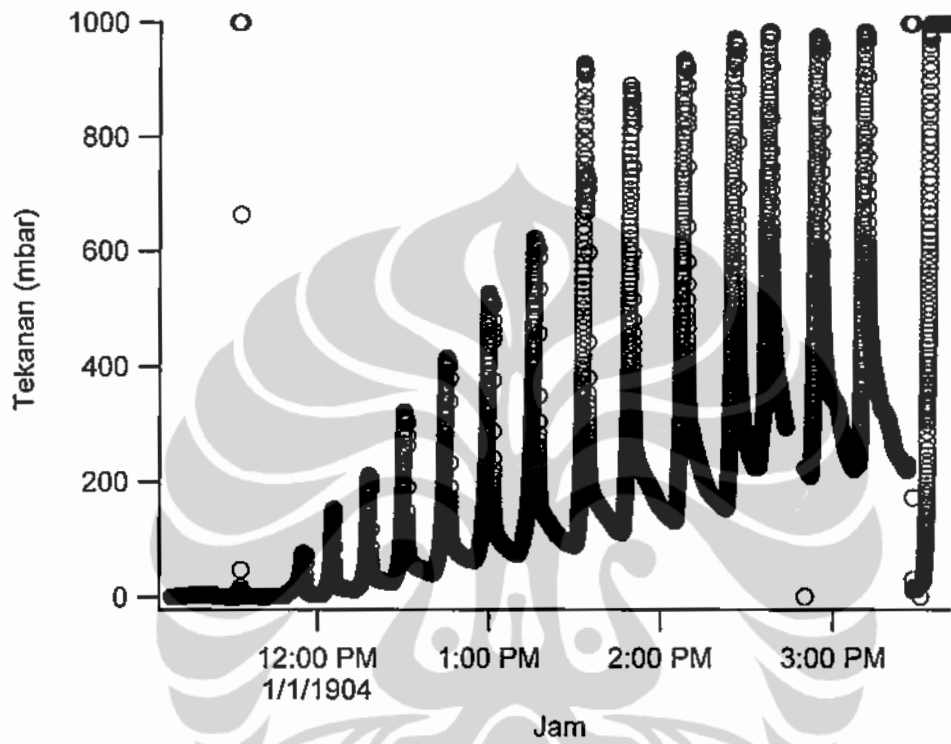
17. Hidriding Mg_3CoNi_2 -40j_200°C_siklus 1

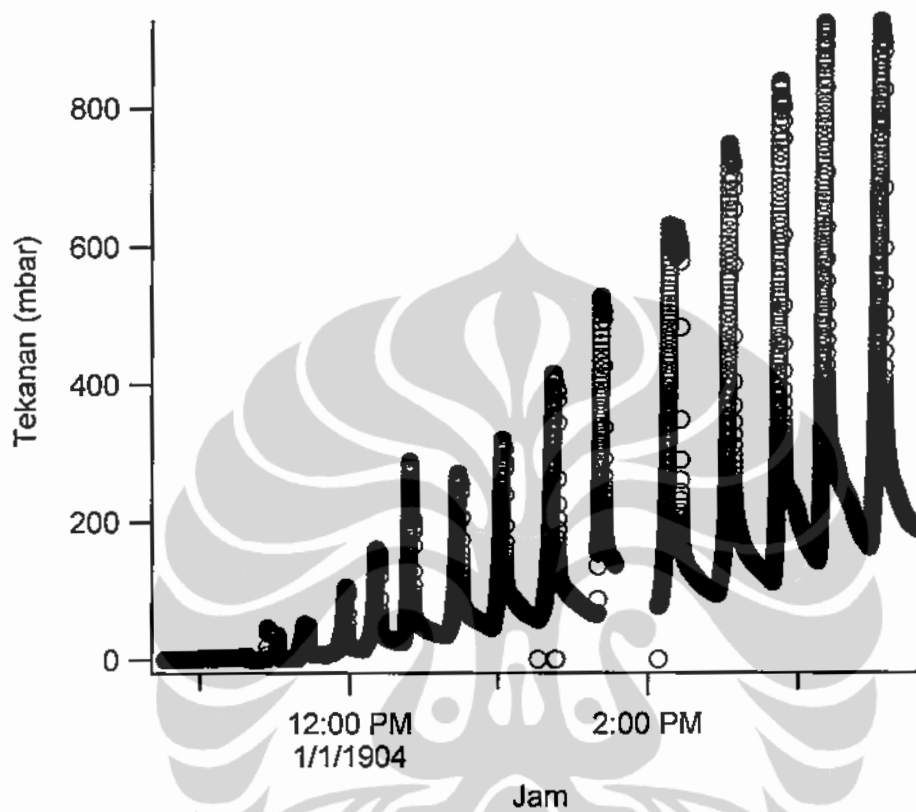
18. Hidriding $Mg_3CoNi_2-40j_{200^\circ C}$ _siklus 2

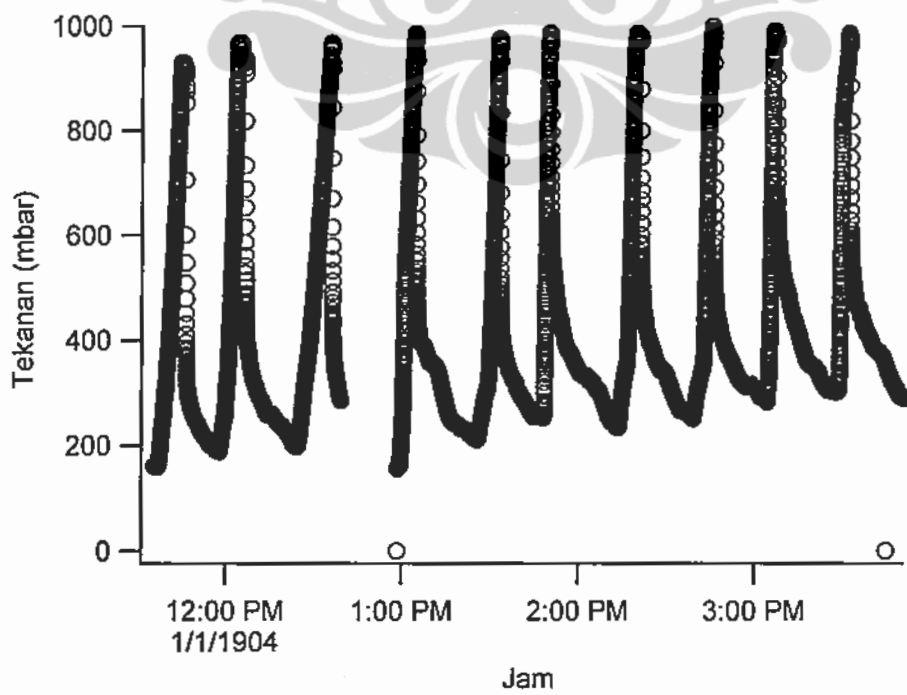
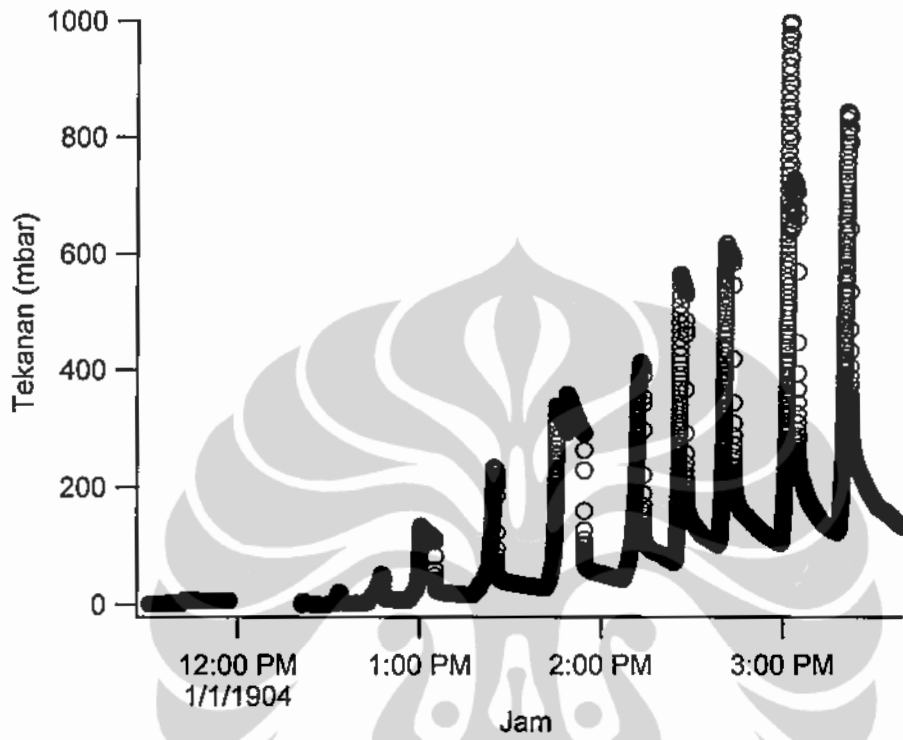
19. Hidriding Mg_3CoNi_2 -40j_250°C_siklus 1

20. Hidriding $Mg_3CoNi_2-40j_{250^\circ C}$ _siklus 2

21. Hidriding $Mg_3CoNi_2-40j_{250^\circ C}$ _siklus 3

22. Hidriding $Mg_3CoNi_2-40j_{250^\circ C}$ _siklus 4

23. Hidriding Mg_3CoNi_2 -40j_300°C_siklus 1

24. Hidriding $Mg_3CoNi_2-40j_{300^\circ C_siklus\ 2}$ 

Lampiran 7. Perhitungan penyerapan hidrogen

140

Hitung Mg₃CoNi₂_20jam_200C_1

Berat sampel (g) 3.3146 0.0251 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 99.8 ml

Volume total 1143.98 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 4 Juni 2009

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dlk)	Total waktu	% wt	% wt rev	ln P3
0	4.97	4.02	4.5364	0.5164	3.2735	0.0000	0.0000	7	7	0.0014	0.0001	1.3913
4.02	10.29	6.001	9.7430	3.7420	7.0155	0.0002	0.0002	16	23	0.0117	0.0005	1.7919
6.001	58.7	15.1	54.1026	39.0026	46.0180	0.0018	0.0020	21	44	0.1185	0.0047	2.7147
15.1	109.3	22.34	101.0821	78.7421	124.7601	0.0036	0.0055	23	67	0.3343	0.0133	3.1064
22.34	160	40.53	147.9906	107.4606	232.2207	0.0049	0.0104	10	77	0.6287	0.0250	3.7020
40.53	170.8	50.42	159.4353	109.0153	341.2361	0.0049	0.0154	12	89	0.9274	0.0369	3.9204
50.42	247.5	71.01	230.3069	159.2969	500.5330	0.0072	0.0226	13	102	1.3638	0.0542	4.2628
71.01	293	94.27	273.6338	179.3638	679.8967	0.0081	0.0307	23	125	1.8552	0.0738	4.5462
94.27	364	141.7	340.4689	198.7689	878.6657	0.0090	0.0398	15	140	2.3998	0.0954	4.9537
141.7	441.2	190.2	415.0718	224.8718	1103.5375	0.0102	0.0500	19	159	3.0159	0.1199	5.2481
190.2	559	290.2	526.8262	236.6262	1340.1636	0.0107	0.0607	23	182	3.6642	0.1457	5.6706
290.2	671	400.6	637.7793	237.1793	1577.3429	0.0108	0.0715	27	209	4.3140	0.1716	5.9930
400.6	851.6	680	812.2551	132.2551	1709.5980	0.0060	0.0775	18	227	4.6764	0.1860	6.5221
680	972.4	808.5	946.8912	138.3912	1847.9892	0.0063	0.0838	11	238	5.0555	0.2011	6.6952
808.5	974.1	834.6	959.6532	125.0532	1973.0424	0.0057	0.0895	10	248	5.3982	0.2147	6.7270

0.0398

Hitung Mg3CoNi2 20jam 200C 2

Berat sampel (g) 3.3146 0.0251 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 99.8 ml

Volume total 1143.98 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 5 Juni 2009

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.98

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.98

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.06

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.038	2.088	4.5985	2.5105	3.2735	0.0001	0.0001	10	2	0.0069	0.0003	0.7362
2.088	10.34	4.165	9.6201	5.4551	8.7286	0.0002	0.0003	10	12	0.0165	0.0007	1.4267
4.165	49.95	7.179	45.9557	38.7767	47.5053	0.0011	0.0014	18	30	0.0845	0.0034	1.9712
7.179	100.6	10.04	92.4500	82.4100	129.9153	0.0024	0.0038	19	49	0.2291	0.0091	2.3066
10.04	157.3	20.57	144.4531	123.8831	253.7985	0.0036	0.0074	11	60	0.4466	0.0178	3.0238
20.57	129.4	30.53	119.9057	89.3757	343.1742	0.0026	0.0100	14	74	0.6034	0.0240	3.4187
30.53	203.9	40.53	188.7753	148.2453	491.4195	0.0043	0.0143	29	103	0.8636	0.0343	3.7020
40.53	264.1	61.12	244.5959	183.4759	674.8955	0.0053	0.0196	18	121	1.1856	0.0472	4.1128
61.12	352.4	71.53	326.9889	255.4589	930.3544	0.0074	0.0271	26	147	1.6340	0.0650	4.2701
71.53	449.2	90.09	416.2523	326.1623	1256.5167	0.0095	0.0366	32	179	2.2064	0.0877	4.5008
90.09	522.3	91.6	484.5943	392.9943	1549.5110	0.0114	0.0480	23	202	2.8962	0.1152	4.5174
91.6	586.2	130.8	543.0514	412.2514	2061.7625	0.0120	0.0600	26	228	3.6197	0.1440	4.8737
130.8	671.8	202.8	624.6035	421.8035	2483.5660	0.0123	0.0723	28	256	4.3600	0.1734	5.3122
202.8	781.6	233.3	731.1059	497.8059	2981.3719	0.0145	0.0867	30	286	5.2337	0.2081	5.4523
233.3	936.7	263.7	875.3359	611.6359	3593.0078	0.0178	0.1045	33	319	6.3072	0.2508	5.5748
263.7	946.8	284	887.2068	603.2068	4196.2147	0.0175	0.1221	38	357	7.3658	0.2929	5.6490
284	977.4	313.3	916.9083	603.6083	4799.8229	0.0176	0.1396	34	391	8.4252	0.3351	5.7472
313.3	1000	357.5	940.0928	582.5928	5382.4157	0.0169	0.1566	40	431	9.4477	0.3757	5.8791
357.5	1000	374.1	943.9488	569.8488	5952.2645	0.0166	0.1732	42	473	10.4479	0.4155	5.9245

374.1	966.2	402.9	914.5456	511.6456	6463.9101	0.0149	0.1880	43	516	11.3458	0.4512	5.9987
402.9	965.5	410.8	916.4192	505.6192	6969.5293	0.0147	0.2027	41	557	12.2332	0.4865	6.0181
410.8	966.9	434.6	918.3862	483.7862	7453.3155	0.0141	0.2168	59	616	13.0823	0.5203	6.0744
434.6	966.9	497.3	920.4625	423.1625	7876.4780	0.0123	0.2291	40	656	13.8250	0.5498	6.2092
434.6	982.3	455.8	934.5190	478.7190	8355.1971	0.0139	0.2430	36	692	14.6652	0.5832	6.1221
455.8	990.8	500.9	944.1270	443.2270	8798.4241	0.0129	0.2559	42	734	15.4431	0.6142	6.2164
500.9	1000	505.7	956.4589	450.7589	9249.1829	0.0131	0.2690	47	781	16.2342	0.6456	6.2259
505.7	999.4	502.8	956.3300	453.5300	9702.7129	0.0132	0.2822	45	826	17.0302	0.6773	6.2202
502.8	973.1	554.6	954.6000	0.0000	9702.7129	0.0000	0.2822	44	870	17.0302	0.6773	6.3182
554.6	936	391.7	902.7269	511.0269	10213.7398	0.0149	0.2971	23	893	17.9271	0.7129	5.9705
391.7	962	603.8	912.2474	308.4474	10522.1873	0.0090	0.3061	20	913	18.4685	0.7345	6.4032
603.8	992.3	603.8	958.4075	354.6075	10876.7948	0.0103	0.3164	37	950	19.0908	0.7592	6.4032
603.8	995.1	672.7	960.9633	288.2633	11165.0581	0.0084	0.3248	34	984	19.5967	0.7793	6.5113
672.7	990.1	680.5	962.4103	281.9103	11446.9683	0.0082	0.3330	28	1012	20.0915	0.7990	6.5228
680.5	976	704	950.2208	246.2208	11693.1891	0.0072	0.3401	32	1044	20.5237	0.8162	6.5568
704	966.2	782.7	943.3259	160.6259	11853.8150	0.0047	0.3448	16	1060	20.8056	0.8274	6.6627
782.7	976	782.2	959.1366	176.9366	12030.7516	0.0051	0.3500	16	1076	21.1161	0.8398	6.6621
782.2	993	900.9	974.6100	73.7100	12104.4616	0.0021	0.3521	46	1122	21.2455	0.8449	6.8034
900.9	966.2	803.9	960.5033	156.6033	12261.0648	0.0046	0.3567	12	1134	21.5203	0.8558	6.6895
803.9	976	817.3	960.9861	143.6861	12404.7510	0.0042	0.3608	32	1166	21.7725	0.8659	6.7060
817.3	970.3	805.5	956.9524	151.4524	12556.2034	0.0044	0.3652	7	1173	22.0383	0.8764	6.6915
805.5	994.4	831	977.9205	146.9205	12703.1239	0.0043	0.3695	7	1180	22.2962	0.8867	6.7226
831	985.1	772.1	971.6564	199.5564	12902.6803	0.0058	0.3753	16	1196	22.6464	0.9006	6.6491
772.1	938	681	923.5270	242.5270	13145.2073	0.0071	0.3824	19	1215	23.0721	0.9176	6.5236

0.0398

Hitung Mg3CoNi2 20jam 250C 1

143

Berat sampel (g) 1.8587 0.0141 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 20 Agustus 2008

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (atm)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dlk)	Total waktu	% wt	wt % rev	In P3
0	5.038	2.006	0.0046	0.0026	0.0026	0.0001	0.0001	28	28	0.0127	0.0005	0.6961
2.006	11	5.02	0.0101	0.0052	0.0078	0.0001	0.0003	18	46	0.0275	0.0011	1.6134
5.02	50.42	18.26	0.0462	0.0281	0.0359	0.0007	0.0010	11	57	0.1076	0.0043	2.9047
18.26	97.6	34.23	0.0900	0.0562	0.0921	0.0015	0.0025	19	76	0.2677	0.0106	3.5331
34.23	155.6	56.22	0.1439	0.0884	0.1806	0.0023	0.0048	29	105	0.5195	0.0207	4.0293
56.22	220.2	89.12	0.2043	0.1163	0.2969	0.0031	0.0079	43	148	0.8508	0.0338	4.4900
89.12	308.8	122.2	0.2873	0.1667	0.4636	0.0044	0.0123	44	192	1.3255	0.0527	4.8057
122.2	414.7	190.8	0.3860	0.1977	0.6613	0.0052	0.0176	39	231	1.8885	0.0751	5.2512
190.8	505.3	250	0.4737	0.2270	0.8883	0.0060	0.0236	37	268	2.5347	0.1008	5.5215
250	636.9	301.5	0.5978	0.3003	1.1885	0.0079	0.0315	40	308	3.3897	0.1348	5.7088
301.5	701.5	350.3	0.6606	0.3148	1.5033	0.0083	0.0398	60	368	4.2861	0.1705	5.8588
350.3	801.6	390.3	0.7553	0.3700	1.8734	0.0098	0.0496	63	431	5.3398	0.2124	5.9669
390.3	938.7	410.5	0.8829	0.4777	2.3511	0.0126	0.0623	73	504	6.7001	0.2665	6.0174
410.5	936.7	650.3	0.8827	0.2408	2.5919	0.0064	0.0686	66	570	7.3858	0.2937	6.4774

Hitung Mg3CoNi2 20jam 250C 2

Berat sampel (g) 1.8587 0.0141 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 21 Agustus 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	wt %	wt % rev	In P3
0	9.994	3.436	9.1884	5.7524	6.2729	0.0002	0.0002	27	27	0.0081	0.0003	1.2343
3.436	51.23	13.24	47.3774	34.1374	40.4103	0.0009	0.0010	21	48	0.0560	0.0022	2.5832
13.24	99.37	25.16	92.4272	67.2672	107.6774	0.0018	0.0028	18	66	0.1506	0.0060	3.2253
25.16	151.7	41.47	141.4997	100.0297	207.7072	0.0026	0.0054	20	86	0.2911	0.0116	3.7250
41.47	202.5	59.22	189.5195	130.2995	338.0067	0.0034	0.0088	25	111	0.4742	0.0189	4.0813
59.22	298.3	111.7	279.0280	167.3280	505.3347	0.0044	0.0132	10	121	0.7093	0.0282	4.7158
111.7	413.5	150.7	389.1722	238.4722	743.8070	0.0062	0.0194	14	135	1.0444	0.0415	5.0153
150.7	555.4	192.3	522.7776	330.4776	1074.2845	0.0086	0.0280	12	147	1.5087	0.0600	5.2591
192.3	604.7	231.4	571.4569	340.0569	1414.3414	0.0089	0.0369	10	157	1.9866	0.0790	5.4441
231.4	749	261.2	707.2768	446.0768	1860.4182	0.0116	0.0486	14	171	2.6133	0.1039	5.5653
261.2	875.3	273.8	825.7980	551.9980	2412.4162	0.0144	0.0630	16	187	3.3889	0.1348	5.6124
273.8	1000	510	941.4618	431.4618	2843.8780	0.0113	0.0743	42	229	3.9952	0.1589	6.2344
510	995.9	403.2	956.7321	553.5321	3397.4101	0.0145	0.0887	23	252	4.7730	0.1898	5.9994
403.2	972.4	370.8	926.5174	555.7174	3953.1275	0.0145	0.1032	25	277	5.5538	0.2209	5.9157
370.8	1000	531.1	949.2809	418.1809	4371.3084	0.0109	0.1141	19	296	6.1414	0.2442	6.2750
141.2	977.4	561.4	909.9948	348.5948	4719.9032	0.0091	0.1233	25	321	6.6312	0.2637	6.3304
561.4	995.1	574.4	960.1399	385.7399	5105.6431	0.0101	0.1333	32	353	7.1732	0.2853	6.3533
574.4	995.1	593	961.1878	368.1878	5473.8309	0.0096	0.1429	15	368	7.6905	0.3058	6.3852
593	995.9	612.6	963.4227	350.8227	5824.6535	0.0092	0.1521	31	399	8.1835	0.3254	6.4177
612.6	995.9	520.8	965.0026	444.2026	6268.8561	0.0116	0.1637	21	420	8.8076	0.3503	6.2554

520.8	995.9	560.2	957.6027	397.4027	6666.2588	0.0104	0.1741	28	448	9.3660	0.3725	6.3283
560.2	983.3	612.6	949.1944	336.5944	7002.8532	0.0088	0.1829	22	470	9.8389	0.3913	6.4177
612.6	996.6	859.8	965.6462	105.8462	7108.6993	0.0028	0.1856	9	479	9.9877	0.3972	6.7567
859.8	962	713.2	953.7618	240.5618	7349.2611	0.0063	0.1919	12	491	10.3257	0.4106	6.5698
713.2	988.7	850.4	966.4922	116.0922	7465.3533	0.0030	0.1950	7	498	10.4888	0.4171	6.7457
850.4	972.4	650.3	962.5657	312.2657	7777.6190	0.0082	0.2031	27	525	10.9276	0.4346	6.4774
650.3	983.7	711.2	956.8250	245.6250	8023.2440	0.0064	0.2095	16	541	11.2727	0.4483	6.5670
711.2	984.4	761.6	962.3776	200.7776	8224.0217	0.0052	0.2148	13	554	11.5548	0.4595	6.6354
761.6	989.4	820.3	971.0373	150.7373	8374.7589	0.0039	0.2187	9	563	11.7666	0.4679	6.7097
820.3	984.4	803.3	971.1721	167.8721	8542.6310	0.0044	0.2231	6	569	12.0025	0.4773	6.6887
803.3	989.4	812	974.3987	162.3987	8705.0297	0.0042	0.2273	11	580	12.2307	0.4864	6.6995

0.0398

Hitung Mg3CoNi2 20jam 250C 3

Berat sampel (g) 1.8587 0.0141 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 26 Agustus 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dkk)	Total waktu	wt %	wt % rev	ln P3
0	5.178	2.33	4.7606	2.4306	2.7436	0.0001	0.0001	17	17	0.0118	0.0005	0.8459
2.33	25.44	8.109	23.5771	15.4681	18.2117	0.0004	0.0005	15	32	0.0553	0.0022	2.0930
8.109	51.26	18.28	47.7816	29.5016	47.7134	0.0008	0.0013	13	45	0.1382	0.0055	2.9058
18.28	106.2	31.22	99.1129	67.8929	115.6062	0.0018	0.0031	23	68	0.3290	0.0131	3.4411
31.22	147.7	51.23	138.3107	87.0807	202.6869	0.0023	0.0053	27	95	0.5737	0.0228	3.9363
51.23	204	75.34	191.6854	116.3454	319.0323	0.0030	0.0084	39	134	0.9006	0.0358	4.3220
75.34	308	140.5	289.2455	148.7455	467.7778	0.0039	0.0123	11	145	1.3186	0.0524	4.9452
140.5	402.3	181.5	381.1966	199.6966	667.4744	0.0052	0.0175	12	157	1.8798	0.0748	5.2013
181.5	501.3	231.4	475.5213	244.1213	911.5956	0.0064	0.0238	12	169	2.5658	0.1020	5.4441
231.4	628.2	241.3	596.2144	354.9144	1266.5100	0.0093	0.0331	13	182	3.5632	0.1417	5.4860
241.3	694.4	272.8	657.8761	385.0761	1651.5861	0.0101	0.0432	20	202	4.6454	0.1847	5.6087
272.8	837.8	312.4	792.2559	479.8559	2131.4420	0.0125	0.0557	23	225	5.9938	0.2384	5.7443
312.4	881.6	241	835.7174	594.7174	2726.1594	0.0155	0.0712	38	263	7.6651	0.3048	5.4848
241	1000	350	938.8178	588.8178	3314.9772	0.0154	0.0866	26	289	9.3198	0.3706	5.8579
350	1000	560.5	947.6042	387.1042	3702.0814	0.0101	0.0967	43	332	10.4076	0.4139	6.3288
560.5	988.7	642	954.1832	312.1832	4014.2647	0.0082	0.1049	23	355	11.2849	0.4488	6.4646
642	960.6	600.3	934.9180	334.6180	4348.8827	0.0087	0.1136	20	375	12.2253	0.4862	6.3974
600.3	995.9	613.9	964.0111	350.1111	4698.9938	0.0091	0.1228	24	399	13.2091	0.5253	6.4198
189	982.3	650.8	918.3529	267.5529	4966.5467	0.0070	0.1297	28	427	13.9610	0.5552	6.4782
650.8	973.1	781.9	947.1197	165.2197	5131.7664	0.0043	0.1341	14	441	14.4253	0.5737	6.6617

825	973.1	401	961.1618	560.1618	6469.0170	0.0146	0.1690	46	531	18.1832	0.7231	5.9940
401	914.6	743.1	873.1992	130.0992	6599.1162	0.0034	0.1724	29	560	18.5489	0.7377	6.6108
743.1	934.6	762.1	919.1634	157.0634	6756.1796	0.0041	0.1765	24	584	18.9902	0.7552	6.6361
762.1	916.6	751.7	904.1459	152.4459	6908.6255	0.0040	0.1805	16	600	19.4186	0.7723	6.6223
751.7	961.3	861.5	944.4044	82.9044	6991.5299	0.0022	0.1826	60	660	19.6616	0.7815	6.7587
861.5	951.6	810.9	944.3371	133.4371	7124.9670	0.0035	0.1861	15	675	20.0266	0.7964	6.6981
810.9	957.2	850.4	945.4069	95.0069	7219.9739	0.0025	0.1886	21	696	20.2936	0.8071	6.7457
850.4	958.5	871.5	949.7862	78.2862	7298.2601	0.0020	0.1906	13	709	20.5136	0.8158	6.7702
871.5	996.6	701	986.5158	285.5158	7583.7759	0.0075	0.1981	11	720	21.3159	0.8477	6.5525
701	996.6	742.1	972.7720	230.6720	7814.4479	0.0060	0.2041	26	746	21.9642	0.8735	6.6095
742.1	989.4	826.2	969.4654	143.2654	7957.7133	0.0037	0.2079	19	765	22.3668	0.8895	6.7168
826.2	952.3	823.3	942.1352	118.8352	8076.5486	0.0031	0.2110	21	786	22.7007	0.9028	6.7133
823.3	960.6	861.5	949.5324	88.0324	8164.5809	0.0023	0.2133	15	801	22.9481	0.9126	6.7587
861.5	955.8	871	948.1986	77.1986	8241.7795	0.0020	0.2153	14	815	23.1650	0.9212	6.7696
871	962	751.2	954.6646	203.4646	8445.2441	0.0053	0.2206	28	843	23.7368	0.9440	6.6217
751.2	962.7	790.7	945.6512	154.9512	8600.1953	0.0040	0.2246	20	863	24.1723	0.9613	6.6729
790.7	963.4	800.4	949.4788	149.0788	8749.2741	0.0039	0.2285	16	879	24.5912	0.9780	6.6851
800.4	963.4	851	950.2607	99.2607	8848.5349	0.0026	0.2311	10	889	24.8701	0.9891	6.7464

0.0398

Hitung Mg3CoNi2 20jam 250C 4

Berat sampel (g) 1.8587 0.0141 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 2 September 2008

Rumus: $pV = nRT$

BA Mg = 24.312
 BA Ni = 58.71
 BA Co = 58.93

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	wt %	wt %rev	In P3
0	5.013	3.135	4.6089	1.4739	1.4739	0.0000	0.0000	15	15	0.0041	0.0002	1.1426
3.135	23.28	6.121	21.6561	15.5351	17.0090	0.0004	0.0004	40	55	0.0478	0.0019	1.8117
6.121	58.03	20.18	53.8457	33.6657	50.6747	0.0009	0.0013	17	72	0.1424	0.0057	3.0047
20.18	100.3	38.14	93.8416	55.7016	106.3763	0.0015	0.0028	15	87	0.2989	0.0119	3.6413
38.14	202.5	62.37	189.2511	126.8811	233.2574	0.0033	0.0061	27	114	0.6555	0.0261	4.1331
62.37	308.6	100.1	288.7517	188.6517	421.9091	0.0049	0.0110	22	136	1.1856	0.0472	4.6062
100.1	409.4	130.1	384.4677	254.3677	676.2767	0.0066	0.0177	27	163	1.9005	0.0756	4.8683
130.1	492.4	150.1	463.1954	313.0954	989.3721	0.0082	0.0258	36	199	2.7505	0.1094	5.0113
150.1	603.3	181	566.7680	385.7680	1375.1401	0.0101	0.0359	33	232	3.7505	0.1492	5.1985
181	963.3	240.6	900.2396	659.6396	2034.7798	0.0172	0.0531	34	266	5.5558	0.2209	5.4831
240.6	1000	309.7	938.7856	629.0856	2663.8653	0.0164	0.0696	41	307	7.4905	0.2979	5.7356
309.7	985.1	350.3	930.6567	580.3567	3244.2221	0.0152	0.0847	31	338	9.1726	0.3648	5.8588
350.3	999.9	378.7	947.5364	568.8364	3813.0585	0.0149	0.0996	39	377	10.7538	0.4277	5.9367
378.7	993.7	400	944.1255	544.1255	4357.1840	0.0142	0.1138	47	424	12.2659	0.4878	5.9915
400	987.4	422	940.0503	518.0503	4875.2343	0.0135	0.1273	32	456	13.7694	0.5476	6.0450
208.6	980.2	620.3	918.0021	297.7021	5172.9364	0.0078	0.1351	19	475	15.2279	0.6056	6.4302
620.3	998.7	972.4	968.1976	-4.2024	5168.7340	-0.0001	0.1350	13	488	16.4114	0.6527	6.8798
972.4	976.7	610.3	976.3534	366.0534	5534.7874	0.0096	0.1445	23	511	17.4127	0.6925	6.4140
610.3	985.1	612.1	954.8878	342.7878	5877.5751	0.0090	0.1535	22	533	18.4076	0.7320	6.4169
612.1	979.5	613.5	949.8843	336.3843	6213.9594	0.0088	0.1623	17	550	19.4363	0.7730	6.4192

612.6	1000	280.3	968.7721	688.4721	8015.5189	0.0180	0.2093	21	647	23.1310	0.9199	5.6359
33	994.4	560.6	916.9026	356.3026	8371.8214	0.0093	0.2186	17	664	23.7194	0.9433	6.3290
560.6	995.1	750.7	960.0754	209.3754	8581.1968	0.0055	0.2241	25	689	24.3512	0.9684	6.6210
750.7	999.9	755	979.8123	224.8123	8806.0091	0.0059	0.2300	11	700	24.8125	0.9868	6.6267
755	993.7	810.3	974.4586	164.1586	8970.1677	0.0043	0.2343	26	726	24.8007	0.9863	6.6974
810.3	995.9	980.9	980.9390	0.0390	8970.2067	0.0000	0.2343	9	735	24.8008	0.9863	6.8885

0.0398

Berat sampel (g) 3.6196 0.0274 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 4 Maret 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	wt %	wt %rev	ln P3
0	5.299	0.4327	4.8719	4.4392	2.4072	0.0001	0.0001	16	16	0.0058	0.0036	-0.8377
2.677	25.46	16.08	23.6235	7.5435	9.9507	0.0002	0.0003	14	30	0.0158	0.0097	2.7776
7.437	78.61	37.27	72.8728	35.6028	45.5535	0.0008	0.0011	47	77	0.0627	0.0386	3.6182
15.05	145.1	70.91	134.6168	63.7068	109.2603	0.0015	0.0027	55	132	0.1466	0.0903	4.2614
25.9	195	111.2	181.3690	70.1690	179.4294	0.0017	0.0043	37	169	0.2390	0.1473	4.7113
40.55	274.6	151.6	255.7335	104.1335	283.5628	0.0025	0.0068	43	212	0.3762	0.2318	5.0212
56.18	389.5	181.8	362.6314	180.8314	464.3943	0.0043	0.0111	105	317	0.6143	0.3786	5.2029
75.66	494.9	230.1	461.1055	231.0055	695.3998	0.0055	0.0166	73	390	0.9186	0.5661	5.4385
133	580.7	291.1	544.6114	253.5114	948.9112	0.0060	0.0227	102	492	1.2525	0.7719	5.6737
159.4	691.9	390	648.9757	258.9757	1207.8869	0.0062	0.0288	112	604	1.5936	0.9821	5.9661

Berat sampel (g) 2.9291 0.0222 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 99.8 ml

Volume total 1143.98 ml

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 11 Juni 2009

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	6.889	1.437	6.2880	4.8510	3.2735	0.0002	0.0002	12	12	0.0150	0.0006	0.3626
1.437	12.61	8.091	11.6353	3.5443	6.8177	0.0002	0.0004	12	24	0.0260	0.0010	2.0908
8.091	61.17	19.34	56.5394	37.1994	44.0172	0.0017	0.0021	17	41	0.1414	0.0056	2.9622
19.34	113.1	27.44	104.9204	77.4804	121.4976	0.0035	0.0056	22	63	0.3816	0.0152	3.3120
27.44	223.7	50.93	206.5784	155.6484	277.1460	0.0071	0.0127	15	78	0.8641	0.0344	3.9305
50.93	317.8	65.6	294.5185	228.9185	506.0645	0.0104	0.0231	26	104	1.5739	0.0626	4.1836
65.6	398.9	160.6	369.8231	209.2231	715.2876	0.0095	0.0326	46	150	2.2225	0.0884	5.0789
160.6	418.3	261.6	395.8184	134.2184	849.5061	0.0061	0.0386	26	176	2.6387	0.1049	5.5668
261.6	530.7	451.9	507.2239	55.3239	904.8300	0.0025	0.0412	10	186	2.8102	0.1118	6.1135

Hitung Mg3CoNi2_30jam_200C_2

Berat sampel (g) 2.9291 0.0222 mol

Volume System 1044.18 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Volume Reaktor 99.8 ml

Tanggal: 11 Juni 2009

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.I 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.I 82.0600

BA Mg = 24.312
 BA Ni = 58.71
 BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dik)	Total waktu	% wt	%wt rev	ln P3
0	5.849	2.766	5.3387	2.5727	2.5727	0.0001	0.0001	21	21	0.0051	0.0008	1.0174
2.766	14.42	6.174	13.4033	7.2293	9.8021	0.0002	0.0003	14	35	0.0195	0.0030	1.8203
6.174	52.95	10.23	48.8693	38.6393	48.4413	0.0011	0.0014	19	54	0.0962	0.0149	2.3253
10.23	105.5	17.15	97.1887	80.0387	128.4801	0.0023	0.0037	18	72	0.2552	0.0394	2.8420
17.15	162	30.72	149.3634	118.6434	247.1234	0.0035	0.0072	28	100	0.4908	0.0758	3.4249
30.72	219	41.83	202.5746	160.7446	407.8680	0.0047	0.0119	19	119	0.8101	0.1251	3.7336
41.83	318.1	59.94	293.9984	234.0584	641.9264	0.0068	0.0187	21	140	1.2749	0.1969	4.0933
59.94	454.1	91	419.7138	328.7138	970.6402	0.0096	0.0282	26	166	1.9278	0.2977	4.5109
91	527.6	131.9	489.5113	357.6113	1328.2515	0.0104	0.0386	23	189	2.6380	0.4074	4.8820
131.9	627.3	170.3	584.0817	413.7817	1742.0332	0.0120	0.0507	30	219	3.4598	0.5343	5.1376
170.3	712.2	211.3	664.9250	453.6250	2195.6582	0.0132	0.0639	36	255	4.3607	0.6735	5.3533
211.3	809.1	201.8	756.9484	555.1484	2750.8066	0.0161	0.0800	31	286	5.4633	0.8438	5.3073
201.8	921.3	211.5	858.5313	647.0313	3397.8379	0.0188	0.0988	39	325	6.7483	1.0422	5.3542
211.5	999.4	263.1	930.6642	667.5642	4065.4021	0.0194	0.1183	37	362	8.0742	1.2470	5.5725
263.1	1000	314.2	935.7134	621.5134	4686.9154	0.0181	0.1363	54	416	9.3085	1.4376	5.7500
314.2	992.3	342.1	933.1430	591.0430	5277.9585	0.0172	0.1535	29	445	10.4824	1.6189	5.8351
342.1	985.1	264.3	929.0051	664.7051	5942.6636	0.0193	0.1729	22	467	11.8026	1.8228	5.5771
264.3	982.3	334.8	919.6622	584.8622	6527.5258	0.0170	0.1899	34	501	12.9641	2.0022	5.8135
334.8	993	384.8	935.5791	550.7791	7078.3049	0.0160	0.2059	36	537	14.0580	2.1711	5.9527
384.8	997.3	534.5	943.8659	409.3659	7487.6708	0.0119	0.2178	25	562	14.8710	2.2967	6.2813

644.7	1000	649.9	969.0039	319.1039	9132.1648	0.0093	0.2656	24	698	18.1371	2.8011	6.4768
649.9	996.6	713.7	966.3541	252.6541	9384.8189	0.0073	0.2730	22	720	18.6389	2.8786	6.5705
713.7	999.9	781.6	974.9321	193.3321	9578.1510	0.0056	0.2786	16	736	19.0229	2.9379	6.6613
781.6	994.4	733	975.8355	242.8355	9820.9865	0.0071	0.2857	22	758	19.5052	3.0124	6.5971
733	1000	782.2	976.7071	194.5071	10015.4936	0.0057	0.2913	18	776	19.8915	3.0720	6.6621
782.2	995.1	684.5	976.5268	292.0268	10307.5204	0.0085	0.2998	21	797	20.4715	3.1616	6.5287
684.5	1000	804.5	972.4760	167.9760	10475.4984	0.0049	0.3047	24	821	20.8051	3.2131	6.6902
804.5	999.9	756.6	982.8534	226.2534	10701.7498	0.0066	0.3113	20	841	21.2544	3.2825	6.6288
756.6	1000	731	978.7660	247.7660	10949.5158	0.0072	0.3185	22	863	21.7465	3.3585	6.5944
731	995.1	758.8	972.0601	213.2601	11162.7759	0.0062	0.3247	17	880	22.1701	3.4240	6.6317
758.8	986.6	782.2	966.7269	184.5269	11347.3028	0.0054	0.3301	16	896	22.5365	3.4806	6.6621
782.2	995.1	852.9	976.5268	123.6268	11470.9295	0.0036	0.3337	14	910	22.7821	3.5185	6.7486

Hitung Mg3CoNi2_30j_250C_1

154

Berat sampel (g) 3.0906 0.0234 mol

Volume System 1044.18 ml Jenis Pekerjaan: Hidriding

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml Tanggal: 25 Maret 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar =

0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K

1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.I

1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.I

82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dik)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.024	4.015	4.6190	0.6040	0.6040	0.0000	0.0000	19	19	0.0016	0.0002	1.3900
4.015	5.006	3.153	4.9261	1.7731	4.6190	0.0000	0.0001	13	32	0.0046	0.0007	1.1484
3.153	4.088	3.09	4.0126	0.9226	7.7720	0.0000	0.0001	19	51	0.0056	0.0009	1.1282
3.09	9.233	5.06	8.7378	3.6778	10.8620	0.0001	0.0002	14	65	0.0118	0.0019	1.6214
5.06	20.05	11.48	18.8417	7.3617	15.9220	0.0002	0.0004	22	87	0.0242	0.0039	2.4406
11.48	45.02	17.36	42.3164	24.9564	27.4020	0.0014	0.0010	23	110	0.0664	0.0106	2.8542
17.36	103.7	41.77	96.7402	54.9702	44.7620	0.0024	0.0048	15	125	0.1593	0.0255	3.7322
41.77	152.2	52.08	143.2984	91.2184	86.5320	0.0024	0.0048	19	144	0.3135	0.0502	3.9528
52.08	202.8	73.62	190.6506	117.0306	138.6120	0.0031	0.0079	21	165	0.5113	0.0819	4.2989
73.62	253.5	80.56	239.0001	158.4401	212.2320	0.0041	0.0120	20	185	0.7790	0.1248	4.3890
80.56	303.7	116.6	285.7129	169.1129	292.7920	0.0044	0.0165	18	203	1.0649	0.1706	4.7587
116.6	350.6	119.9	331.7375	211.8375	409.3920	0.0055	0.0220	21	224	1.4229	0.2279	4.7867
119.9	414.7	163.2	390.9365	227.7365	529.2920	0.0059	0.0279	19	243	1.8078	0.2896	5.0950
163.2	443.2	192.9	420.6295	227.7295	692.4920	0.0059	0.0339	18	261	2.1926	0.3512	5.2622
192.9	511.5	201.2	485.8180	284.6180	885.3920	0.0074	0.0413	26	287	2.6737	0.4282	5.3043
201.2	548.6	223.6	520.5965	296.9965	1086.5920	0.0078	0.0491	28	315	3.1756	0.5086	5.4099
223.6	599	251.6	568.7394	317.1394	1310.1920	0.0083	0.0574	25	340	4.2619	0.6826	5.5278
251.6	961.3	360.3	904.0918	543.7918	1561.7920	0.0142	0.0716	26	366	4.7979	0.7685	5.8869
360.3	957.2	310.6	909.0845	598.4845	1922.0920	0.0156	0.0872	25	391	5.8792	0.9417	5.7385
310.6	944.8	250.9	893.6778	642.7778	2232.6920	0.0168	0.1040	31	422	6.8907	1.1037	5.5251
250.9	944.1	312.2	888.2219	576.0219	2483.5920	0.0150	0.1190	34	456	7.8642	1.2596	5.7436
312.2	957.2	265.4	905.2072	639.8072	2795.7920	0.0167	0.1357	37	493	8.8574	1.4187	5.5812
265.4	1000	353.1	940.7847	587.6847	3061.1920	0.0153	0.1511	32	525	9.7765	1.5659	5.8668
353.1	1000	426.6	947.8541	521.2541	3414.2920	0.0136	0.1647	44	569	10.6574	1.7070	6.0558

Hitung Mg3CoNi2_30j_250C_2

155

Berat sampel (g) 3.0906 0.0234 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 26 Maret 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dlk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.009	4.305	4.6052	0.3002	0.3002	0.0000	0.0000	21	21	0.0005	0.0001	1.4598
4.305	9.239	5.028	8.8413	3.8133	4.1135	0.0001	0.0001	13	34	0.0070	0.0011	1.6150
5.028	21.47	10.09	20.1446	10.0546	14.1681	0.0003	0.0004	15	49	0.0239	0.0038	2.3115
10.09	57.74	21.23	53.8990	32.6690	46.8371	0.0009	0.0012	18	67	0.0792	0.0127	3.0554
21.23	99.37	52.2	93.0712	40.8712	87.7083	0.0011	0.0023	12	79	0.1482	0.0237	3.9551
52.2	151.2	70.91	143.2197	72.3097	160.0180	0.0019	0.0042	29	108	0.2704	0.0433	4.2614
70.91	203.4	100.4	192.7201	92.3201	252.3382	0.0024	0.0066	21	129	0.4265	0.0683	4.6092
100.4	303.3	140.8	286.9444	146.1444	398.4826	0.0038	0.0104	23	152	0.6735	0.1079	4.9473
140.8	402.9	210.9	381.7724	170.8724	569.3550	0.0045	0.0149	30	182	0.9622	0.1541	5.3514
210.9	512.3	251.1	488.0045	236.9045	806.2595	0.0062	0.0211	34	216	1.3626	0.2183	5.5259
251.1	595.6	250.5	567.8302	317.3302	1123.5897	0.0083	0.0293	35	251	1.8989	0.3042	5.5235
250.5	697.9	250.1	661.8356	411.7356	1535.3252	0.0108	0.0401	33	284	2.5948	0.4156	5.5219
250.1	802.7	251.8	758.1555	506.3555	2041.6807	0.0132	0.0533	23	307	3.4506	0.5527	5.5286
251.8	854.7	421.6	806.1009	384.5009	2426.1816	0.0100	0.0634	31	338	4.1004	0.6568	6.0441
421.6	906.8	428.4	867.6885	439.2885	2865.4701	0.0115	0.0748	44	382	4.8428	0.7757	6.0601
428.4	956.5	495.6	913.9304	418.3304	3283.8006	0.0109	0.0858	29	411	5.5498	0.8889	6.2058
495.6	954.4	412.6	917.4166	504.8166	3788.6172	0.0132	0.0989	42	453	6.4030	1.0256	6.0225
412.6	958.5	412.3	914.4956	502.1956	4290.8128	0.0131	0.1121	33	486	7.2517	1.1615	6.0218
412.3	966.9	491.3	922.1943	430.8943	4721.7070	0.0113	0.1233	37	523	7.9800	1.2782	6.1971
491.3	980.2	554.2	940.7903	386.5903	5108.2973	0.0101	0.1334	39	562	8.6333	1.3828	6.3175

Hitung Mg3CoNi2_30j_250C_3

Berat sampel (g) 3.0906 0.0234 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 27 Maret 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dik)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.02	3.122	4.6153	1.4933	1.4933	0.0000	0.0000	15	15	0.0025	0.0004	1.1385
3.122	5.02	3.077	4.8670	1.7900	3.2833	0.0000	0.0001	12	27	0.0055	0.0009	1.1240
3.077	10	5.156	9.4419	4.2869	7.5693	0.0001	0.0002	14	41	0.0128	0.0020	1.6402
5.156	24.1	8.068	22.5729	14.5049	22.0742	0.0004	0.0006	18	59	0.0373	0.0060	2.0879
8.068	51	15.15	47.5393	32.3893	54.4635	0.0008	0.0014	26	85	0.0920	0.0147	2.7180
15.15	98.37	26.31	91.6617	65.3517	119.8153	0.0017	0.0031	25	110	0.2025	0.0324	3.2699
26.31	151.8	38.09	141.6844	103.5944	223.4096	0.0027	0.0058	35	145	0.3776	0.0605	3.6400
38.09	203.4	70.35	190.0745	119.7245	343.1342	0.0031	0.0090	16	161	0.5799	0.0929	4.2535
70.35	308.4	113.2	289.2110	176.0110	519.1452	0.0046	0.0136	16	177	0.8774	0.1405	4.7292
113.2	400.6	153.4	377.4330	224.0330	743.1782	0.0059	0.0194	15	192	1.2560	0.2012	5.0330
153.4	506.8	170.3	478.3128	308.0128	1051.1910	0.0080	0.0275	17	209	1.7766	0.2846	5.1376
170.3	599.4	201.4	564.8107	363.4107	1414.6017	0.0095	0.0369	23	232	2.3908	0.3829	5.3053
201.4	742.6	260.5	698.9744	438.4744	1853.0761	0.0115	0.0484	40	272	3.1318	0.5016	5.5626
260.5	798.7	213.3	755.3163	542.0163	2395.0924	0.0142	0.0626	18	290	4.0479	0.6484	5.3627
213.3	851.6	242.4	800.1473	557.7473	2952.8397	0.0146	0.0771	28	318	4.9905	0.7993	5.4906
242.4	910	262.8	856.1855	593.3855	3546.2252	0.0155	0.0926	29	347	5.9933	0.9600	5.5714
262.8	955.1	262.9	899.2944	636.3944	4182.6196	0.0166	0.1092	32	379	7.0689	1.1322	5.5718
262.9	980.2	371.4	922.3792	550.9792	4733.5988	0.0144	0.1236	36	415	8.0001	1.2814	5.9173
371.4	999.4	392.3	948.7776	556.4776	5290.0764	0.0145	0.1382	26	441	8.9405	1.4320	5.9720
392.3	985.1	552.2	937.3150	385.1150	5675.1914	0.0101	0.1482	31	472	9.5914	1.5363	6.3139

552.2	999.4	443.8	963.3517	519.5517	6194.7431	0.0136	0.1618	36	508	10.4695	1.6769	6.0954
443.8	962.7	414.7	920.8720	506.1720	6700.9151	0.0132	0.1750	25	533	11.3250	1.8140	6.0276
414.7	966.2	510.8	921.7442	410.9442	7111.8593	0.0107	0.1857	22	555	12.0195	1.9252	6.2360
510.8	986.6	493.4	948.2463	454.8463	7566.7055	0.0119	0.1976	25	580	12.7882	2.0483	6.2013
493.4	986.6	496.3	946.8437	450.5437	8017.2492	0.0118	0.2094	26	606	13.5496	2.1703	6.2072
496.3	973.2	522.7	934.7576	412.0576	8429.3068	0.0108	0.2201	28	634	14.2460	2.2818	6.2590

0.1602

Hitung Mg3CoNi2_30_250C_4

158

Berat sampel (g) 3.0906 0.0234 mol

Rumus: $pV = nRT$

Volume System 1044.18 ml
 Volume Reaktor 91.55 ml
 Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding
 Tanggal: 28 Maret 2008

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312
 BA Ni = 58.71
 BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dlk)	Total waktu	% wt	%wt rev	ln P3
0	5.07	3.124	4.6613	1.5373	1.53731264	0.0000	0.0000	10	10	0.0120	0.0019	1.1391
3.124	10.12	4.003	9.5561	5.5531	7.09037244	0.0001	0.0002	14	24	0.0317	0.0051	1.3870
4.003	20.08	7.137	18.7840	11.6470	18.7374224	0.0003	0.0005	14	38	0.0896	0.0143	1.9653
7.137	49.95	12.24	46.4989	34.2589	52.9963115	0.0009	0.0014	18	56	0.1950	0.0312	2.5047
12.24	100.3	30.83	93.2016	62.3716	115.367888	0.0016	0.0030	10	66	0.4830	0.0774	3.4285
30.83	238.2	51.04	221.4841	170.4441	285.81201	0.0045	0.0075	20	86	0.9112	0.1459	3.9326
51.04	349.3	71.94	325.2576	253.3176	539.129585	0.0066	0.0141	12	98	1.3874	0.2222	4.2758
71.94	400.3	92.06	373.8312	281.7712	820.900831	0.0074	0.0214	18	116	2.0087	0.3217	4.5224
92.06	512.3	110.8	478.4249	367.6249	1188.52573	0.0096	0.0310	23	139	2.7400	0.4389	4.7077
110.8	647.5	171.5	604.2372	432.7372	1621.26291	0.0113	0.0423	25	164	3.5243	0.5645	5.1446
171.5	709.1	201.7	665.7646	464.0646	2085.32753	0.0121	0.0545	23	187	4.3579	0.6980	5.3068
201.7	803.3	261.6	754.8057	493.2057	2578.53319	0.0129	0.0673	32	219	5.3174	0.8517	5.5668
261.6	900.2	281	848.7231	567.7231	3146.25632	0.0148	0.0822	40	259	6.1656	0.9876	5.6384
281	971.7	414.1	916.0234	501.9234	3648.17972	0.0131	0.0953	39	298	7.0671	1.1320	6.0261
414.1	980.2	401.2	934.5673	533.3673	4181.54699	0.0139	0.1092	22	320	7.7490	1.2412	5.9945
401.2	973.1	523.5	926.9997	403.4997	4585.04674	0.0105	0.1197	25	345	8.7678	1.4044	6.2605
523.5	983.7	343.8	946.6038	602.8038	5187.8505	0.0157	0.1355	25	370	9.7103	1.5553	5.8401
343.8	981.6	372.5	930.1876	557.6876	5745.53811	0.0146	0.1501	29	399	10.6206	1.7011	5.9202
372.5	1000	410.8	949.4179	538.6179	6284.156	0.0141	0.1641	31	430	11.0697	1.7731	6.0181

410.8	993.7	681	946.7130	265.7130	6549.86904	0.0089	0.1711	36	466	11.9295	1.9108	6.5236
681	985.8	452.5	961.2304	508.7304	7058.59943	0.0133	0.1843	35	501	12.3801	1.9830	6.1148
452.5	981.6	672.3	938.9498	266.6498	7325.24924	0.0070	0.1913	33	534	13.0195	2.0854	6.5107
672.3	999.4	594.7	973.0328	378.3328	7703.58205	0.0099	0.2012	21	555	13.7491	2.2022	6.3881
594.7	988	524.6	956.2965	431.6965	8135.27855	0.0113	0.2125	38	593	13.7491	2.2022	6.2626
524.6	995.1	592.2	957.1735	364.9735	8500.25204	0.0095	0.2220	23	616	14.3659	2.3010	6.3838

Hitung Mg3CoNi2_30j_300C_1

160

Berat sampel (g) 2.9932 0.0227 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 14-15 Februari 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	4.822	1.353	4.4333	3.0803	4.20970046	0.0001	0.0001	9	9	0.0049	0.0008	0.3023
0.47	4.884	2.241	4.5282	2.2872	6.49689256	0.0001	0.0001	14	23	0.0085	0.0013	0.8069
1.23	14.94	9.523	13.8349	4.3119	10.8087439	0.0001	0.0002	17	40	0.0154	0.0024	2.2537
3.255	45.02	16.25	41.6534	25.4034	36.2121112	0.0006	0.0008	32	72	0.0559	0.0086	2.7881
7.643	75.12	27.54	69.6808	42.1408	78.3528612	0.0010	0.0018	47	119	0.1230	0.0190	3.3156
14.31	149.2	41.65	138.3267	96.6767	175.02952	0.0023	0.0041	43	162	0.2770	0.0428	3.7293
18.32	174.7	82.33	162.0944	79.7644	254.793893	0.0019	0.0060	31	193	0.4040	0.0624	4.4107
29.06	191	102.2	177.9462	75.7462	330.54008	0.0018	0.0079	21	214	0.5247	0.0810	4.6269
38.87	231.3	122.1	215.7884	93.6884	424.2285	0.0022	0.0101	20	234	0.6739	0.1041	4.8048
48.7	300.4	171.3	280.1107	108.8107	533.039228	0.0026	0.0127	27	261	0.8472	0.1308	5.1434
49.7	344.8	162	321.0123	159.0123	692.051528	0.0038	0.0165	25	286	1.1005	0.1700	5.0876
67.57	372.2	201.7	347.6441	145.9441	837.995624	0.0035	0.0199	25	311	1.3329	0.2059	5.3068
77.1	432.1	221.8	403.4838	181.6838	1019.67945	0.0043	0.0243	29	340	1.6223	0.2506	5.4018
84.92	462.1	241.5	431.6959	190.1959	1209.87536	0.0045	0.0288	63	403	1.9253	0.2973	5.4869
112.2	541.9	264.9	507.2623	242.3623	1452.2377	0.0058	0.0346	24	427	2.3113	0.3570	5.5794
138.2	582.4	301.5	546.5935	245.0935	1697.33121	0.0058	0.0404	49	476	2.7017	0.4172	5.7088
144.2	590	272	554.0645	282.0645	1979.39574	0.0067	0.0472	46	522	3.1509	0.4866	5.6058
145	664.6	402	622.7156	220.7156	2200.11133	0.0053	0.0524	31	553	3.5025	0.5409	5.9965
185.9	732	344.1	687.9795	343.8795	2543.99078	0.0082	0.0606	68	621	4.0502	0.6255	5.8409
210.7	772.6	402.9	727.3058	324.4058	2868.39661	0.0077	0.0683	53	674	4.5669	0.7053	5.9987

203.7	837	457.4	785.9504	328.5504	3196.94697	0.0078	0.0762	53	727	5.0902	0.7861	6.1256
219.5	834	561.4	784.4658	223.0658	3420.01277	0.0053	0.0815	46	773	5.4455	0.8410	6.3304
230.2	831.6	480.8	783.1218	302.3218	3722.33455	0.0072	0.0887	52	825	5.9271	0.9154	6.1755
291.3	813.2	540.7	771.1302	230.4302	3952.76474	0.0055	0.0942	46	871	6.2941	0.9721	6.2929
313.7	822.7	390.6	781.6700	391.0700	4343.83478	0.0093	0.1035	36	907	6.9170	1.0683	5.9677
204.5	808.5	412.3	759.8122	347.5122	4691.34698	0.0083	0.1118	59	966	7.4705	1.1537	6.0218
251.2	831	475.6	784.2629	308.6629	5000.0099	0.0074	0.1192	51	1017	7.9621	1.2297	6.1646
246.8	781	451.9	737.9387	286.0387	5286.04861	0.0068	0.1260	43	1060	8.4177	1.3000	6.1135
242	781.6	512.3	738.1034	225.8034	5511.85202	0.0054	0.1314	24	1084	8.7774	1.3556	6.2389
227.6	813.2	414.4	765.9954	351.5954	5863.44742	0.0084	0.1397	90	1174	9.3374	1.4421	6.0268
227.5	803.9	451.6	757.4370	305.8370	6169.28443	0.0073	0.1470	41	1215	9.8245	1.5173	6.1128
400	803.3	723.6	770.7904	47.1904	6216.47484	0.0011	0.1482	12	1227	9.8997	1.5289	6.5842
302.9	846.7	742.6	802.8649	60.2649	6276.73969	0.0014	0.1496	16	1243	9.9957	1.5437	6.6102
291.3	818.5	711.2	776.0030	64.8030	6341.54266	0.0015	0.1511	14	1257	10.0989	1.5597	6.5670
424.4	822.7	672.3	790.5935	118.2935	6459.83611	0.0028	0.1540	36	1293	10.2873	1.5888	6.5107
428.7	827.4	654.6	795.2612	140.6612	6600.49732	0.0034	0.1573	28	1321	10.5114	1.6234	6.4840
577	924.6	780.5	896.5803	116.0803	6716.57765	0.0028	0.1601	39	1360	10.6962	1.6519	6.6599
637.3	928.6	788.9	905.1186	116.2186	6832.79627	0.0028	0.1629	17	1377	10.8814	1.6805	6.6706
400	917.9	743.1	876.1526	133.0526	6965.84889	0.0032	0.1660	32	1409	11.0933	1.7133	6.6108
325	923.9	480.1	875.6233	395.5233	7361.3722	0.0094	0.1755	47	1456	11.7233	1.8105	6.1740
429	936	630.9	895.1313	264.2313	7625.60346	0.0063	0.1817	37	1493	12.1441	1.8755	6.4471
395.3	925.3	827.4	882.5773	55.1773	7680.78072	0.0013	0.1831	16	1509	12.2320	1.8891	6.7183

0.1544

Berat sampel (g) 2.9932 0.0227 mol

Volume System 1044.18 ml
 Volume Reaktor 91.55 ml
 Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 14-15 Februari 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Blu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	14.12	5.126	12.9818	7.8558	4.20970046	0.0002	0.0002	8	8	0.0125	0.0019	1.6343
5.126	24.333	9.193	22.7847	13.5917	17.8014444	0.0003	0.0005	14	22	0.0342	0.0053	2.2184
9.193	52.69	18.22	49.1838	30.9638	48.765197	0.0007	0.0012	19	41	0.0835	0.0129	2.9025
18.22	121.2	36.27	112.8989	76.6289	125.394088	0.0018	0.0031	33	74	0.2055	0.0317	3.5910
36.27	251.2	80.56	233.8747	153.3147	278.708806	0.0037	0.0067	25	99	0.4497	0.0695	4.3890
80.56	395.2	142.6	369.8372	227.2372	505.946007	0.0054	0.0121	26	125	0.8117	0.1254	4.9600
142.6	470.8	160.6	444.3441	283.7441	789.690151	0.0068	0.0189	28	153	1.2636	0.1952	5.0789
160.6	572.4	210.4	539.2052	328.8052	1118.49539	0.0078	0.0267	32	185	1.7873	0.2760	5.3490
210.4	666	252.8	629.2746	376.4746	1494.96995	0.0090	0.0357	38	223	2.3870	0.3686	5.5326
252.8	664.6	264.1	631.4052	367.3052	1862.27318	0.0088	0.0445	43	266	2.9720	0.4590	5.5763
264.1	772.1	352.6	731.1507	378.5507	2240.82584	0.0090	0.0535	28	294	3.5750	0.5521	5.8653
352.6	803.9	391.7	767.5212	375.8212	2616.64702	0.0090	0.0625	36	330	4.1736	0.6446	5.9705
391.7	833.4	501.7	797.7950	296.0950	2912.74205	0.0071	0.0695	23	353	4.6452	0.7174	6.2180
501.7	801	412.6	776.8737	364.2737	3277.01579	0.0087	0.0782	42	395	5.2254	0.8070	6.0225
412.6	811.4	402.3	779.2532	376.9532	3653.96894	0.0090	0.0872	37	432	5.8258	0.8997	5.9972
402.3	972.4	701.5	926.4448	224.9448	3878.91378	0.0054	0.0926	50	482	6.1841	0.9551	6.5532
701.5	966.9	842.5	945.5064	103.0064	3981.92017	0.0025	0.0950	34	516	6.3481	0.9804	6.7364
842.5	929.3	400.3	922.3031	522.0031	4503.92331	0.0124	0.1074	30	546	7.1796	1.1088	5.9922
400.3	914	424.7	872.5912	447.8912	4951.81449	0.0107	0.1181	43	589	7.8930	1.2190	6.0514
424.7	913.3	560.6	873.9145	313.3145	5265.12896	0.0075	0.1256	31	620	8.3920	1.2961	6.3290

560.6	931.3	607.7	901.4183	293.7183	5558.84723	0.0070	0.1326	46	666	8.8598	1.3683	6.4097
607.7	914.6	605.5	889.8611	284.3611	5843.20834	0.0068	0.1394	24	690	9.3128	1.4383	6.4061
605.5	957.2	601.5	928.8498	327.3498	6170.55817	0.0078	0.1472	31	721	9.8342	1.5188	6.3994
601.5	962.7	621	933.5840	312.5840	6483.14222	0.0075	0.1546	36	757	10.3320	1.5957	6.4313
621	902.8	580.3	880.0844	299.7844	6782.92662	0.0071	0.1618	24	781	10.8095	1.6694	6.3635
580.3	931.3	700	903.0063	203.0063	6985.93288	0.0048	0.1666	24	805	11.1329	1.7194	6.5511
700	923.3	616.6	905.3000	288.7000	7274.6329	0.0069	0.1735	20	825	11.5927	1.7904	6.4242
616.6	932.6	700	907.1276	207.1276	7481.76047	0.0049	0.1784	19	844	11.9226	1.8413	6.5511
700	969.2	650.8	947.5001	296.7001	7778.46055	0.0071	0.1855	30	874	12.3952	1.9143	6.4782
650.8	954.4	734.6	929.9271	195.3271	7973.78767	0.0047	0.1902	26	900	12.7063	1.9624	6.5993
734.6	931.3	663.6	915.4442	251.8442	8225.63189	0.0060	0.1962	35	935	13.1074	2.0243	6.4977
663.6	934.6	645.2	912.7550	267.5550	8493.18686	0.0064	0.2025	25	960	13.5336	2.0901	6.4696
645.2	956.5	730.4	931.4064	201.0064	8694.1933	0.0048	0.2073	26	986	13.8538	2.1396	6.5936
730.4	966.2	701	947.1924	246.1924	8940.38571	0.0059	0.2132	22	1008	14.2459	2.2001	6.5525
701	911.3	841.2	894.3479	53.1479	8993.53365	0.0013	0.2145	28	1036	14.3305	2.2132	6.7348
841.2	966.9	801.6	956.7675	155.1675	9148.7011	0.0037	0.2182	34	1070	14.5777	2.2514	6.6866
801.6	932.6	602.9	922.0402	319.1402	9467.84133	0.0076	0.2258	26	1096	15.0860	2.3299	6.4018
602.9	962.7	700.5	933.6969	233.1969	9701.03823	0.0056	0.2313	27	1123	15.4574	2.3873	6.5518
700.5	962.7	732	941.5643	209.5643	9910.60256	0.0050	0.2363	27	1150	15.7912	2.4388	6.5958
732	963.4	729.8	944.7471	214.9471	10125.5497	0.0051	0.2415	25	1175	16.1336	2.4917	6.5928
729.8	972.4	767.6	952.8443	185.2443	10310.7939	0.0044	0.2459	29	1204	16.4287	2.5372	6.6433
767.6	972.4	886.7	955.8913	69.1913	10379.9852	0.0016	0.2475	28	1232	16.5389	2.5543	6.7875
886.7	976.7	685.5	969.4452	283.9452	10663.9304	0.0068	0.2543	34	1266	16.9911	2.6241	6.5301
685.5	972.4	815.6	949.2733	133.6733	10797.6037	0.0032	0.2575	11	1277	17.2040	2.6570	6.7039

0.1544

Hitung Mg3CoNi2_40jam_200C_1

164

Berat sampel (g) 1.3502 0.0102 mol

Volume System 1044.18 ml Jenis Pekerjaan: Hidriding

Volume Reaktor 99.8 ml

Volume total 1143.98 ml Tanggal: 11 Juni 2009

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.197	2.914	4.7436	1.8296	2.8726	0.0001	0.0001	23	23	0.0220	0.0009	1.0695
2.914	26.05	14.06	24.0316	9.9716	12.8442	0.0005	0.0006	18	41	0.0891	0.0035	2.6433
14.06	83.28	32.27	77.2413	44.9713	57.8155	0.0020	0.0026	26	67	0.3916	0.0156	3.4741
32.27	141.7	62.24	132.1534	69.9134	127.7290	0.0032	0.0058	32	99	0.8618	0.0343	4.1310
62.24	217.5	140	203.9552	63.9552	191.6842	0.0029	0.0087	12	111	1.2919	0.0514	4.9416
140	321.3	223.9	305.4835	81.5835	273.2677	0.0037	0.0124	19	130	1.8407	0.0732	5.4112
223.9	391.7	322.2	377.0612	54.8612	328.1289	0.0025	0.0149	11	141	2.2097	0.0879	5.7752

Hitung Mg3CoNi2_40jam_200C_2

165

Berat sampel (g) 1.3502 0.0102 mol

Volume System 1044.18 ml
 Volume Reaktor 99.8 ml
 Volume total 1143.98 ml

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312
 BA Ni = 58.71
 BA Co = 58.93

Jenis Pekerjaan: Hidriding
 Tanggal: 11 Juni 2009

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	ln P3
0	5.318	2.233	4.8541	2.6211	1.8171	0.0001	0.0001	31	31	0.0220	0.0009	0.8033
2.233	20.9	7.065	19.2715	12.2065	14.0236	0.0004	0.0005	21	52	0.0746	0.0030	1.9552
7.065	52.61	19.08	48.6367	29.5567	43.5803	0.0009	0.0014	24	76	0.2020	0.0080	2.9486
19.08	109.4	40.9	101.5205	60.6205	104.2008	0.0018	0.0031	32	108	0.4631	0.0184	3.7111
40.9	203.7	71.06	189.4974	118.4374	222.6382	0.0034	0.0066	74	182	0.9734	0.0387	4.2635
71.06	305.1	123	284.6825	161.6825	384.3208	0.0047	0.0113	37	219	1.6701	0.0664	4.8122
123	393.5	134.1	369.9018	235.8018	620.1225	0.0069	0.0181	40	259	2.6860	0.1068	4.8986
134.1	492	162.2	460.7771	298.5771	918.6996	0.0087	0.0268	42	301	3.9724	0.1580	5.0888
162.2	593.4	203.7	555.7824	352.0824	1270.7820	0.0102	0.0371	47	348	5.4894	0.2183	5.3166
203.7	773.7	294	723.9736	429.9736	1700.7556	0.0125	0.0496	44	392	7.3420	0.2920	5.6836
294	826.8	300.7	780.3189	479.6189	2180.3745	0.0140	0.0635	29	421	9.4084	0.3742	5.7061
300.7	945	151.4	888.7917	737.3917	2917.7663	0.0214	0.0850	31	452	12.5855	0.5005	5.0199
151.4	1000	500.2	925.9687	425.7687	3343.5350	0.0124	0.0973	32	484	14.4200	0.5735	6.2150
500.2	984.4	413.8	942.1587	528.3587	3871.8937	0.0154	0.1127	27	511	16.6964	0.6640	6.0254
413.8	996.6	541.5	945.7569	404.2569	4276.1507	0.0118	0.1245	22	533	18.4382	0.7333	6.2943
541.5	966.2	862.1	929.1495	67.0495	4343.2001	0.0020	0.1264	39	572	18.7271	0.7448	6.7594
862.1	997.3	642.4	985.5052	343.1052	4686.3054	0.0100	0.1364	35	607	20.2054	0.8035	6.4652
642.4	1000	642.4	968.8032	326.4032	5012.7086	0.0095	0.1459	28	635	21.6117	0.8595	6.4652
642.4	953.7	911.3	926.5424	15.2424	5027.9510	0.0004	0.1463	23	658	21.6774	0.8621	6.8149

911.3	997.3	753.4	989.7974	236.3974	5264.3485	0.0069	0.1532	27	685	22.6959	0.9026	6.6246
753.4	1000	654.1	978.4868	324.3868	5588.7353	0.0094	0.1627	29	714	24.0935	0.9582	6.4833
654.1	1000	872.1	969.8239	97.7239	5686.4592	0.0028	0.1655	22	736	24.5146	0.9749	6.7709
872.1	996.6	840	985.7387	145.7387	5832.1979	0.0042	0.1697	17	753	25.1425	0.9999	6.7334
840	1000	701.5	986.0417	284.5417	6116.7396	0.0083	0.1780	27	780	26.3684	1.0486	6.5532
701.5	996.6	813.2	970.8557	157.6557	6274.3953	0.0046	0.1826	13	793	27.0477	1.0757	6.7010
813.2	1000	838.2	983.7037	145.5037	6419.8990	0.0042	0.1868	29	822	27.6746	1.1006	6.7313
838.2	997.3	778.8	983.4202	204.6202	6624.5192	0.0060	0.1928	24	846	28.5562	1.1356	6.6578
778.8	996.6	869	977.5993	108.5993	6733.1185	0.0032	0.1959	10	856	29.0241	1.1543	6.7673
869	1000	931.3	988.5717	57.2717	6790.3902	0.0017	0.1976	21	877	29.2709	1.1641	6.8366
931.3	999.9	904.2	993.9154	89.7154	6880.1055	0.0026	0.2002	7	884	29.6574	1.1794	6.8071

0.0398

Hitung Mg3CoNi2_40j_250C_1

167

Berat sampel (g) 3.1496 0.0239 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 23 Juni 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.141	2.426	5.1410	2.7150	4.1266	0.0001	0.0001	21	21	0.0045	0.0012	0.8862
2.426	36.61	10.09	36.6100	26.5200	30.6466	0.0007	0.0008	13	34	0.0485	0.0125	2.3115
10.09	111.2	38.23	111.2000	72.9700	103.6166	0.0019	0.0027	56	90	0.1695	0.0436	3.6436
38.23	201.2	54.23	201.2000	146.9700	250.5866	0.0038	0.0065	37	127	0.4132	0.1064	3.9932
54.23	252.5	85.35	252.5000	167.1500	417.7366	0.0044	0.0109	40	167	0.6904	0.1777	4.4468
85.35	302.6	150.2	302.6000	152.4000	570.1366	0.0040	0.0149	21	188	0.9432	0.2427	5.0120
150.2	404.1	250.1	404.1000	154.0000	724.1366	0.0040	0.0189	25	213	1.1986	0.3085	5.5219
250.1	514.1	300.2	514.1000	213.9000	938.0366	0.0056	0.0245	39	252	1.5533	0.3998	5.7044
300.2	605.1	411.4	605.1000	193.7000	1131.7366	0.0051	0.0295	51	303	1.8745	0.4825	6.0196
411.4	749.6	550.6	749.6000	199.0000	1330.7366	0.0052	0.0347	53	356	2.2046	0.5674	6.3110
550.6	966.2	958.5	966.2000	7.7000	1338.4366	0.0002	0.0349	6	362	2.2173	0.5707	6.8654

0.2574

Hitung Mg3CoNi2_40j_250C_2

168

Berat sampel (g) 3.1496 0.0239 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 24 Juni 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	4.92	1.835	4.5234	2.6884	4.1266	0.0001	0.0001	20	20	0.0041	0.0010	0.6070
1.835	10.15	3.142	9.4797	6.3377	10.4643	0.0002	0.0002	26	46	0.0137	0.0035	1.1449
3.142	50.38	11.13	46.5722	35.4422	45.9065	0.0008	0.0011	15	61	0.0673	0.0173	2.4096
11.13	99.8	21.1	92.6524	71.5524	117.4589	0.0017	0.0028	18	79	0.1756	0.0452	3.0493
21.1	189.1	39.06	175.5577	136.4977	253.9566	0.0033	0.0060	26	105	0.3822	0.0984	3.6651
39.06	301.8	56.18	280.6208	224.4408	478.3974	0.0054	0.0114	33	138	0.7220	0.1858	4.0286
56.18	431.2	77.21	400.9700	323.7600	802.1575	0.0077	0.0191	39	177	1.2120	0.3119	4.3465
77.21	524.2	140.8	488.1686	347.3686	1149.5261	0.0083	0.0274	19	196	1.7378	0.4473	4.9473
140.8	602.9	180.3	565.6506	385.3506	1534.8767	0.0092	0.0366	23	219	2.3211	0.5974	5.1946
180.3	738.3	211	693.3202	482.3202	2017.1969	0.0115	0.0481	31	250	3.0512	0.7853	5.3519
211	854.7	430.9	802.8120	371.9120	2389.1089	0.0089	0.0569	45	295	3.6142	0.9302	6.0659
430.9	962.7	341.3	919.8322	578.5322	2967.6411	0.0138	0.0707	25	320	4.4899	1.1556	6.8328
341.3	973.1	740.5	922.1713	181.6713	3149.3123	0.0043	0.0750	40	360	4.7649	1.2264	6.6073

0.2574

Hitung Mg3CoNi2_40j_250C_3

Berat sampel (g) 3.1496 0.0239 mol

Volume System 1044.18 ml
Volume Reaktor 91.55 ml
Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 25 Juni 2008

BA Mg = 24.312
BA Ni = 58.71
BA Co = 58.93Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dik)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	14.51	7.32	13.3404	6.0204	4.1266	0.0002	0.0002	25	25	0.0118	0.0030	1.9906
7.32	32.39	11.07	30.3691	19.2991	23.4257	0.0005	0.0007	15	40	0.0438	0.0113	2.4042
11.07	117.2	26.16	108.6450	82.4860	105.9107	0.0022	0.0028	22	62	0.1806	0.0465	3.2642
26.16	205.4	57.41	190.9517	133.5417	239.4523	0.0035	0.0063	24	86	0.4021	0.1035	4.0502
57.41	299.1	120.6	279.6176	159.0176	398.4700	0.0042	0.0105	11	97	0.6658	0.1714	4.7925
120.6	403.1	190.6	380.3280	189.7280	588.1979	0.0050	0.0154	21	118	0.9804	0.2523	5.2502
190.6	504.9	250.5	479.5646	229.0646	817.2626	0.0060	0.0214	22	140	1.3603	0.3501	5.5235
250.5	609	340.8	580.1017	239.3017	1056.5642	0.0062	0.0277	23	163	1.7572	0.4522	5.8313
340.8	723.1	390.9	692.2832	301.3632	1357.9474	0.0079	0.0355	34	197	2.2570	0.5809	5.9685
390.9	790.7	300.1	758.4725	458.3725	1816.3200	0.0120	0.0475	32	229	3.0172	0.7765	5.7041
300.1	900.2	431.2	851.8266	420.6266	2236.9466	0.0110	0.0585	30	259	3.7147	0.9561	6.0666
431.2	949.5	571.6	907.7204	336.1204	2573.0669	0.0088	0.0673	29	288	4.2721	1.0995	6.3484
571.6	962.7	810.3	931.1738	120.8738	2693.9408	0.0032	0.0704	10	298	4.4726	1.1511	6.6974

0.2574

Hitung Mg3CoNi2_40j_250C_4

170

Berat sampel (g) 3.1496 0.0239 mol

Volume System 1044.18 ml

Volume Reaktor 91.55 ml

Volume total 1135.73 ml

BA Mg = 24.312

BA Ni = 58.71

BA Co = 58.93

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 26 Juni 2008

Rumus: $pV = nRT$

1 mbar = 0.0010 atm

Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800

Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800

Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dtk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	4.963	2.635	4.5629	1.9279	4.1266	0.0001	0.0001	15	15	0.0032	0.0008	0.9689
2.635	10.26	4.238	9.6454	5.4074	9.5339	0.0001	0.0002	24	39	0.0122	0.0031	1.4441
4.238	73.2	15.18	67.6410	52.4610	61.9950	0.0014	0.0016	13	52	0.0992	0.0255	2.7200
15.18	149.1	27.18	138.3048	111.1248	173.1198	0.0029	0.0045	17	69	0.2835	0.0730	3.3025
27.18	204.5	45.89	190.2064	144.3164	317.4363	0.0038	0.0082	24	93	0.5228	0.1346	3.8262
45.89	304.8	91.26	283.9295	192.6695	510.1058	0.0050	0.0133	14	107	0.8423	0.2168	4.5137
91.26	401.2	131.2	376.2161	245.0161	755.1219	0.0064	0.0197	11	118	1.2486	0.3214	4.8767
131.2	504.9	151.2	474.7764	323.5764	1078.6983	0.0085	0.0281	19	137	1.7853	0.4595	5.0186
151.2	602.9	190.1	566.4889	376.3889	1455.0872	0.0098	0.0379	22	159	2.4095	0.6201	5.2476
190.1	723.1	231.3	680.1354	448.8354	1903.9227	0.0117	0.0497	22	181	3.1538	0.8117	5.4437
231.3	872.1	290.2	820.4458	530.2458	2434.1685	0.0138	0.0635	36	217	4.0332	1.0380	5.6706
290.2	919.9	340.6	869.1405	528.5405	2962.7090	0.0138	0.0773	32	249	4.9097	1.2636	5.8307
340.6	961.3	400.9	911.2660	510.3660	3473.0750	0.0133	0.0906	34	283	5.7561	1.4815	5.9937
400.9	980.2	491.6	933.5032	441.9032	3914.9783	0.0115	0.1022	43	326	6.4890	1.6701	6.1977
491.6	960.6	510.8	922.7944	411.9944	4326.9727	0.0108	0.1129	29	355	7.1722	1.8459	6.2360
510.8	976	491.3	938.5007	447.2007	4774.1734	0.0117	0.1246	37	392	7.9138	2.0368	6.1971

0.2574

Hitung Mg3CoNi2_40j_300C_1

171

Berat sampel 3.0138 0.0229

Rumus: $pV = nRT$

Volume System 1044.18 ml
 Volume Reaktor 91.55 ml
 Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 30 Juni 2008

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

BA Mg = 24.312
 BA Ni = 58.71
 BA Co = 58.93

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dk)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	5.035	1.224	4.6291	3.4051	3.4051	0.0001	0.0001	24	24	0.0054	0.0020	0.2021
1.224	35.16	4.153	32.4245	28.2715	31.6766	0.0007	0.0008	28	52	0.0501	0.0184	1.4238
4.153	47.53	10.4	44.0334	33.6334	65.3100	0.0008	0.0016	15	67	0.1033	0.0380	2.3418
10.4	101.9	25.01	94.5243	69.5143	134.8243	0.0017	0.0032	14	81	0.2133	0.0784	3.2193
25.01	152.5	43.4	142.2232	98.8232	233.6475	0.0024	0.0056	16	97	0.3696	0.1359	3.7705
43.4	202	65.22	189.2154	123.9954	357.6429	0.0030	0.0085	16	113	0.5658	0.2080	4.1778
65.22	253.5	85.1	238.3229	153.2229	510.8658	0.0037	0.0122	26	139	0.8081	0.2971	4.4438
85.1	305.1	107.3	287.3660	180.0660	690.9319	0.0043	0.0165	27	166	1.0930	0.4018	4.6756
107.3	387.3	148.7	364.7295	216.0295	906.9614	0.0051	0.0216	9	175	1.4347	0.5274	5.0019
148.7	504.6	200.6	475.9113	275.3113	1182.2726	0.0066	0.0282	10	185	1.8702	0.6875	5.3013
200.6	599	200.9	566.8854	365.9854	1548.2580	0.0087	0.0369	9	194	2.4492	0.9003	5.3028
200.9	719.9	223.1	678.0640	454.9640	2003.2220	0.0108	0.0478	34	228	3.1689	1.1649	5.4076
223.1	830.4	263.7	781.4462	517.7462	2520.9682	0.0123	0.0601	49	277	3.9879	1.4660	5.5748
263.7	914	339.1	861.5800	522.4800	3043.4482	0.0125	0.0725	42	319	4.8144	1.7698	5.8263
339.1	901.5	362.4	856.1655	493.7655	3537.2137	0.0118	0.0843	26	345	5.5955	2.0569	5.8927

0.3676

Hitung Mg3CoNi2_40j_300C_2

172

Berat sampel (g) 3.0138 0.0229 mol

Rumus: $pV = nRT$

Volume System 1044.18 ml
 Volume Reaktor 91.55 ml
 Volume total 1135.73 ml

Jenis Pekerjaan: Hidriding

Tanggal: 30 Juni 2008

1 mbar = 0.0010 atm
 Konstanta gas, cal/gmol.K 1.9800
 Konstanta gas, Btu/lbmol.l 1.9800
 Konstanta gas, atm/gmol.l 82.0600

P1	P2	P3	P teoritis	Pdiserap (mbar)	Total P	Hmol	Total H mol	Waktu (dik)	Total waktu	% wt	%wt rev	In P3
0	20.06	7.163	18.4430	11.2800	11.2800	0.0003	0.0003	10	10	0.0178	0.0066	2.9147
7.163	50.13	14.12	46.6665	32.5465	43.8265	0.0008	0.0010	14	24	0.0693	0.0255	3.8430
14.12	111.1	28.4	103.2825	74.8825	118.7090	0.0018	0.0028	14	38	0.1878	0.0690	4.6375
28.4	225.7	52.27	209.7959	157.5259	276.2349	0.0038	0.0066	17	55	0.4370	0.1606	5.3461
52.27	291.1	68.1	271.8482	203.7482	479.9830	0.0049	0.0114	20	75	0.7593	0.2791	5.6052
68.1	404.1	120	377.0154	257.0154	736.9984	0.0061	0.0176	16	91	1.1659	0.4286	5.9323
120	536.6	170.6	503.0183	332.4183	1069.4167	0.0079	0.0255	20	111	1.6917	0.6219	6.2206
170.6	492.2	210.1	466.2762	256.1762	1325.5929	0.0061	0.0316	15	126	2.0969	0.7708	6.1448
210.1	708.1	250.9	667.9567	417.0567	1742.6496	0.0099	0.0415	16	142	2.7567	1.0134	6.5042
250.9	838.2	300.2	790.8584	490.6584	2233.3080	0.0117	0.0532	24	166	3.5329	1.2987	6.6731
300.2	914.6	321	865.0739	544.0739	2777.3819	0.0130	0.0662	27	193	4.3935	1.6151	6.7628
321	928.6	420.4	879.6220	459.2220	3236.6039	0.0109	0.0772	24	217	5.1200	1.8821	6.7795
420.4	962.7	412.3	918.9858	506.6858	3743.2896	0.0121	0.0892	21	238	5.9215	2.1767	6.8233
412.3	970.3	482.2	925.3202	443.1202	4186.4098	0.0106	0.0998	20	258	6.6225	2.4344	6.8301
482.2	972.4	452.2	932.8855	480.6855	4667.0953	0.0115	0.1113	17	275	7.3829	2.7139	6.8383
452.2	973.1	589.2	931.1108	341.9108	5009.0061	0.0082	0.1194	18	293	7.9237	2.9128	6.8364
589.2	974.5	541.1	943.4414	402.3414	5411.3475	0.0096	0.1290	15	308	8.5602	3.1467	6.8495
541.1	973.1	512.6	938.2769	425.6769	5837.0244	0.0101	0.1391	17	325	9.2336	3.3942	6.8440
512.6	974.5	652.6	937.2667	284.6667	6121.6912	0.0068	0.1459	13	338	9.6839	3.5598	6.8430
652.6	972.4	592.2	946.6213	354.4213	6476.1124	0.0084	0.1544	11	349	10.2445	3.7659	6.8529

0.3676

Lampiran 8. Biodata

Nama Lengkap : Andon Insani, M.Eng.
 NIP : 19671214 198611 2 001
 Tempat/Tanggal lahir : Bantul. 14 Desember 1967
 Jenis Kelamin : Wanita
 Bidang Keahlian : Material Science and Engineering
 Kantor/Unit Kerja : PTBIN-BATAN
 Alamat Kantor : PTBIN-BATAN Kawasan PUSPIPTEK
 Kota : Tangerang Selatan
 Kode Pos : 15314
 Telepon : 021-756 6727
 Faksimile : 021-756 0926
 E-mail : <http://batan.go.id/ptbin>
 Alamat Rumah : Kompleks PUSPIPTEK IIE no 11 Setu
 Kota : Tangerang Selatan
 Kode Pos : 15314
 Telepon : -
 Faksimile : -
 E-mail : andon@batan.go.id

Pendidikan :

No	Perguruan Tinggi	Kota-Negara	Tahun Lulus	Bidang Studi
1	Waseda University	Tokyo, Jepang	1992	Teknik Kimia (S1)
2	Tokyo Institute of Technology	Tokyo, Jepang	1996	Teknik Nuklir (S2)

Publikasi Nasional:

1. Andon Insani , Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Wisnu Ari Adi, Eddy S. Siradj, Studi difraksi sinar-X pada paduan Mg-Co-Ni yang dibuat dengan metode pepaduan mekanik (*mechanical alloying*), Jurnal Sains Materi, Edisi Khusus Oktober 2006
2. Andon Insani , Johny Wahyuadi, Hadi Suwarno, Eddy S. Siradj, Pengaruh rasio berat bola terhadap sampel pada pembuatan paduan Mg-Co-Ni, Seminar Material dan Metalurgi LIPI, 2006
3. Andon Insani , Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Wisnu Ari Adi, Eddy S. Siradj, Pengukuran penyerapan hidrogen pada paduan Mg-Co-Ni, Jurnal Sains Materi, Edisi Khusus Oktober 2008

Publikasi Internasional:

1. Andon Insani , Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Wisnu Ari Adi, Eddy S. Siradj, Structure analysis of Mg_3CoNi_2 alloy as a hydrogen storage material, International Conference on Materials and Metallurgical Technology (ICOMET 09), Surabaya, July 2009.
2. Andon Insani , Hadi Suwarno, Johny Wahyuadi, Wisnu Ari Adi, Eddy S. Siradj, Small angle neutron scattering investigations of Mg_3CoNi_2 alloy used as a hydrogen storage material, International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE 2009), Bandung, 3-4 November 2009, submitted