

**PENYIMPANAN/PELEPASAN HIDROGEN DENGAN MEDIA
NaBO₂/NaBH₄ PADA TEKANAN DAN TEMPERATUR
BERVARIASI**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia**



EKA KURNIA WATI

08031281419052

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUANALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENYIMPANAN/PELEPASAN HIDROGEN DENGAN MEDIA
NaBO₂/NaBH₄ PADA TEKANAN DAN TEMPERATUR
BERVARIASI**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:
EKA KURNIA WATI
08031281419052

Indralaya, Mei 2018

Pembimbing I



Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP. 196704191993031001

Pembimbing II



Dr. Nirwan Syarif, M.Si
NIP. 197010011999031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc
NIP. 197210041997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Penyimpanan/Pelepasan Hidrogen Dengan Media $\text{NaBO}_2/\text{NaBH}_4$ Pada Tekanan Dan Temperatur Bervariasi" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Mei 2018 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan

Indralaya, Mei 2018

Ketua :

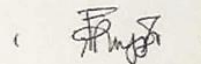
1. **Dr. Dedi Rohendi, M.T**
NIP. 196704191993031001

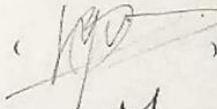
()

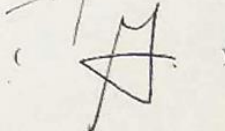
Anggota :

2. **Dr. Nirwan Syarif, M.Si**
NIP.197010011999031003
3. **Fahma Riyanti, M.Si.**
NIP. 197202052000032001
4. **Dr. Bambang Yudono, M.Sc**
NIP.196102071989031004
5. **Dr. Miksusanti, M.Si.**
NIP. 196807231994032003

()

()

()

()

Mengetahui,



Prof. Dr. Ischran Iskandar, M. Sc
NIP. 197210071997021001



Ketua Jurusan Kimia
Dr. Dedi Rohendi, M.T
NIP. 196704191993031001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Eka Kurnia Wati

Nama mahasiswa : Eka Kurnia Wati
NIM : 08031281419052
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Inderalaya, Mei 2018



HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Eka Kurnia Wati
NIM : 08031281419052
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Penyimpanan/Pelepasan Hidrogen dengan Media $\text{NaBO}_2/\text{NaBH}_4$ pada Tekanan dan Temperatur Bervariasi”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Inderalaya, Mei 2018



HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Barang siapa yang menolong agama Allah maka Allah akan menolongnya dan meneguhkan kedudukannya”
(Q.S Muhammad:7)*

*“Sebaik-baik manusia adalah yang bisa bermanfaat bagi orang lain”
(HR. Muslim)*

*“Dimanapun dan kapanpun jangan lupa selalu menebarkan kebermanfaatan bagi orang lain”
(Eka Kurnia Wati)*

Skripsi ini karena rasa syukur ku kepada:

- ♦ Allah SWT
- ♦ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan Skripsi ini kepada:

1. Bapak dan ibu yang senantiasa mendoakan, menyayangi dengan setulus hati dan memberiku motivasi.
2. Saudara-saudaraku yang selalu aku sayangi dan cintai.
3. Pembimbingku (Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Dr. Nirwan Syarif, M.Si)
4. Sahabat-sahabatku
5. Almamaterku (Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT semata, kita memujinya, memohon pertolongan dan ampunan hanya kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul : “Penyimpanan/Pelepasan Hidrogen dengan Media $\text{NaBO}_2/\text{NaBH}_4$ pada Tekanan dan Temperatur Bervariasi ”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar. Terima kasih atas segalanya.
2. Bapak Prof. Iskhaq Iskandar, M.Sc selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Dedi Rohendi, M.T, selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Widia Purwaningrum, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Dr. Bambang Yudono, M.Sc, Ibu Fahma Riyanti, M.S.i dan Ibu Dr. Miksusanti, M.Si selaku penguji sidang sarjana.
7. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si selaku Koordinator Seminar yang membantu dalam segala hal dalam pengurusan jadwal.
8. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Kepada Bapakku (Bukhori) dan Ibuk (Suprihatin) tiada cinta yang suci selain kasih sayang dari kalian. Terima kasih telah

menjagaku, mendidikku, dan membimbingku, memberikan dukungan moril maupun materil serta doa yang tiada henti untuk kesuksesanku. Demikulah kalian ikhlas mengorbankan segalanya. Untuk setiap langkah kakiku aku selalu berusaha mewujudkan harapan yang kalian impikan diriku, meski belum semuanya tercapai, insyaallah atas dukungan doa dan restu dari papa dan mama semua mimpi itu akan terjawab.

10. Kepada adek ku (Evi Lestari) yang selalu bisa memahami dan selalu membantu, terimakasih sudah menjadi adek yang baik dan penurut.
11. Rona ayu sakinah sahabat yang cuek tapi sayang banget sama aku, selalu member semangat dan motivasi dalam berjuang menghadapi skripsi dan kadang suka cemburu kalo eka curhat dengan yang lain hehe.
12. Getari kasmiarti ya walaupun udah jadi alumni duluan tapi selalu member motivasi, semangat, dan kekuatan di saat sahabatnya down dan sebagai pendengannya yang baik kalo eka nangis.
13. Winda Haryati sahabat sekaligus partner kerja ngajar di primagama yang bias mengerti aku. Maaf ya kalo aku sering nyusahin karena sering ganti jam ngajar dengan winda, semoga kita bias punya usaha bimbel kayak yang pernah kita obrolkan.
14. Kosan Oren (mba Vinda, Sari, Nur, Oyin, Evi) terimakasih kita udah 2 tahun bersama semoga silaturahmi kita tidak akan pernah putus.
15. DMFC squad (Hengki, Marini, Mei, Retno, Nunik) terimakasih sudah member semangat untuk eka biar bisa segera lulus, semangat kalian penelitiannya ya semoga sukses dan sehat selalu.
16. Penghuni KF (Vrysa, Rona, Bella, Safril, Clau, Lisa, Ninuk, Aria, Mia, Kiki, Uswah, Mira, Annisa) yang selalu menceriakan suasana di laboratorium. Maafkan kami yang terkadang buat kalian kesal gara-gara rebutan jadwal pakai oven dan hotplate. Yang selalu bikin rusuh gara-gara perdebatan kami di laboratorium. See you on the top guys!!
17. Teman-teman seperjuangan MIKI 2014 (Ariyanti, Bella, Clau, Dewi, Eka, Ical, Firda, Pika, Hensen, Vini, Lisa, Cia, Marini, Maulidya, Mei, Mbak Mikha, Fiul, Hani, Putri Ags, Kopek Putri, Retno, Riska, Resta, Riza,

Apeh, Tirta, Tri, Ulfa, Winda, Nunik, dll) terima kasih atas kebersamaan selama perkuliahan. See you on the top guys!

18. Mbak Novi, kak Roni, dan kak Iin yang baik hati sekali, selaku admin jurusan kimia yang telah banyak membantu kelancaran administrasi dari awal kuliah sampai selesai tugas akhirku.
19. Mbak Nur, Mbak Niar, dan Bu yanti selaku analis kimia yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhirku.
20. Kakak–kakak MIKI 2012 dan 2013 yang selalu menginspirasi, membimbing, dan mengajarkan kami tentang kehidupan kampus sejak pertama masuk UNSRI.
21. Adik-adik MIKI 2015,2016, dan 2017 semangat terus dan semoga cepat menyusul. Aamiin.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Inderalaya, Mei 2018

Penulis

SUMMARY
THE STORAGE / REALEASE OF HYDROGEN WITH NaBO₂ / NaBH₄
MEDIA AT VARYING PRESSURES AND TEMPERATURES

Eka Kurnia Wati : Supervised by Dr. Dedi Rohendi, M.T and Dr. Nirwan Syarif, M.Si

Department of chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Science, Sriwijaya University

X+50 pages, 5 tables, 32 pictures, 11 Attachments

The reaction of the storage and release of hydrogen for fuel cell with Sodium metaborate (NaBO₂)/Sodium borohydride (NaBH₄) media at varying pressures and temperatures has been done. Hydrogen production generated from the hydrolysis of NaBH₄ with water and hydrogen storage generated with NaBO₂ which is a by-product of NaBH₄ hydrolysis process. Hydrogen production process with Sodium borohydride hydrolysis take place on exotherm so that it has high speed of production at low temperature, 0°C in the amount of 0,6 ml /minute. Then NaBO₂ that produced being used for hydrogen storage on varying temperatures and pressures. The highest hydrogen storage capacity at 3 bar, 40°C as much as 35.23% by w/w. The storage process with sodium metaborate can be done repeatedly with the same material. The number of repetition process are depend on the mass of sodium borohydride that used on hydrolysis process. The storage process on this research conducted on several times and shown the increasing number of the storage capacities which are 3.08%, 5.08%, 16.94%, and 47.37%. The resulting values is increasing, it happened because on the hydrolysis process that finished day, caught of impure sodium metaborate so that affected by water in the absorption process.

Keywords: Hydrolysis reaction, sodium borohydride, production of hydrogen, hydrogen storage

RINGKASAN

PENYIMPANAN/PELEPASAN HIDROGEN DENGAN MEDIA NaBO₂/NaBH₄ PADA TEKANAN DAN TEMPERATUR BERVARIASI

Eka Kurnia Wati : Dibimbing oleh Dr. Dedi Rohendi, M.T dan Dr. Nirwan Syarif,
M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
X+ 50 Halaman, 5 Tabel, 14 Gambar, 8 Lampiran

Reaksi penyimpanan dan pelepasan hydrogen untuk bahan bakar fuel cell dengan media Natrium metaborate (NaBO₂)/Natrium borohidrat (NaBH₄) Pada tekanan dan temperatur bervariasi telah dilakukan. Produksi hydrogen dihasilkan dari hidrolisis NaBH₄ dengan air dan penyimpanan hydrogen dilakukan dengan media NaBO₂ yang merupakan produk samping dari proses hidrolisis NaBH₄. Proses produksi hydrogen dengan hidrolisis natrium borohidrat berlangsung secara eksoterm sehingga kelajuan produksi hydrogen tinggi pada suhu rendah yaitu pada 0°C sebesar 0,6 ml/menit. Selanjutnya NaBO₂ yang dihasilkan digunakan sebagai bahan penyimpanan hydrogen pada tekanan dan temperatur bervariasi. Kapasitas penyimpanan hydrogen terbesar pada tekanan 3 bar 40°C sebanyak 35,23 % berat. Proses penyimpanan dengan Natrium metaborat dapat dilakukan berulang-ulang dengan bahan yang sama. Banyaknya proses pengulangan bergantung pada banyaknya massa natrium borohidrat yang digunakan pada proses hidrolisis. Proses penyimpanan pada penelitian ini dilakukan beberapa kali dan menunjukkan peningkatan kapasitas penyimpanan, yaitu 3,08%, 5,08%, 16,94%, dan 47,37%. Nilai yang dihasilkan semakin besar, hal ini terjadi karena pada proses hidrolisis yang dilakukan didapatkan natrium metaborat yang belum murni sehingga masih ada pengaruh air dalam proses penyerapannya.

Kata Kunci : Reaksi Hidrolisis, Natrium Borohidrat, Pelepasan Hidrogen, Penyimpanan Hidrogen

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
SUMMARY	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sifat Fisika dan kimia Hidrogen.....	5
2.2 Produksi Hidrogen	5
2.2.1 Elektrolisis Air.....	6
2.2.2 <i>Steam Reforming</i>	7
2.2.3 Hidrolisis NaBH ₄	8
2.3 Reaksi Hidrogen dengan Logam	9
2.4 Penyimpanan Hidrogen.....	10

2.4.1	Tangki Tekanan Tinggi.....	12
2.4.2	Penyimpanan Kriogenik Hidrogen Cair.....	12
2.4.3	Penyimpanan dengan NaBH ₄	13
2.5	Material-Material Penyimpanan Hidrogen	15
2.6	<i>Mechanical Alloying Ball Milling</i>	15
2.7	Karakterisasi Padatan.....	16
2.7.1	<i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	16
2.7.2	FT-IR.....	17
BAB III.....		19
METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Waktu dan Tempat.....	19
3.2	Alat dan Bahan	19
3.2.1	Alat yang Digunakan	19
3.2.2	Bahan yang Digunakan	19
Prosedur Penelitian		19
3.3.1	Produksi Hidrogen Melalui Hidrolisis NaBH ₄ (Li and Kim, 2012)	19
3.3.3	Kapasitas Penyimpanan Hidrogen (Fisli <i>et al.</i> , 2012)	20
3.3.4	Analisa Data	20
BAB IV		22
PEMBAHASAN.....		22
4.1	Reaksi Hidrolisis NaBH ₄	22
4.1.1	Pembuatan NaBO ₂ dari Reaksi Hidrolisis NaBH ₄	22
4.1.2	Karakterisasi Natrium Borohidrat dan Produk Hidrolisis Natrium Borohidrat 23	
4.2	Produksi Hidrogen dan Penentuan Kelajuan dari Hidrolisis Natrium Borohidrat (NaBH ₄).....	28
4.2.1	Produksi Gas Hidrogen	28
4.2.2	Penentuan Kelajuan Produksi hidrogen	29
4.3	Penyimpanan Hidrogen dengan Menggunakan NaBO ₂	36
4.3.1	Kapasitas Penyimpanan Hidrogen Pada Tekanan Dan Temperatur Bervariasi 37	
BAB V.....		42
KESIMPULAN DAN SARAN		42

5.1 KESIMPULAN	42
5.2 SARAN	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1 Diagram alir proses perubahan gas.....	7
Gambar 2 Senyawa interstitial dibentuk dari metal tipe kubus pengarah sisi (fcc), heksagonal pengarah ruang (hcp), dan kubus pengarah pusat (bcc) ...	10
Gambar 3 Sistem HOD dan fuel cell	14
Gambar 4 Bagan Reaktor Hidrolisis Natrium borohidrat	22
Gambar 5 Hasil karakterisasi XRD NaBH ₄ (a) NaBH ₄ -N ₂ H ₄ (b) dan NaBH ₄ -2N ₂ H ₄ (c) berdasarkan penelitian Mao <i>et al.</i> (2015)	23
Gambar 6 Hasil Karakterisasi XRD NaBH ₄	24
Gambar 7 Hasil Karakterisasi XRD (a) NaBH ₄ , (b) NaBO ₂ dan (c) MgH ₂ berdasarkan penelitian Lang <i>et al.</i> (2017)	24
Gambar 8 Hasil Karakterisasi XRD NaBO ₂	25
Gambar 9 Spektra FTIR NaBH ₄ (a) NaBH ₄ -N ₂ H ₄ (b) dan NaBH ₄ -2N ₂ H ₄ (c) berdasarkan penelitian Mao <i>et al.</i> (2015)	26
Gambar 10 Spetra FT-IR Natrium Borohidrat	26
Gambar 11 Hasil Karakterisasi FTIR (a) NaBO ₂ (b) penggabungan selama 5 menit (c) penggabungan selama 10 menit (d) penggabungan selama 15 menit dan (e) penggabungan selama 20 menit berdasarkan penelitian Lang <i>et al.</i> (2017)	27
Gambar 12 Spetra FT-IR Natrium Metaborat	28
Gambar 13 Pengaruh suhu terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan.....	29
Gambar 14 Suhu terhadap laju produksi hidrogen	31
Gambar 15 Grafik hubungan antara waktu terhadap ln (a+x) suhu 0°C.....	32
Gambar 16 Grafik hubungan antara waktu terhadap ln (a+x) suhu 15°C.....	33
Gambar 17 Grafik hubungan antara waktu terhadap ln (a+x) suhu 25°C.....	33
Gambar 18 Grafik hubungan antara waktu terhadap ln (a+x) suhu 35°C.....	33
Gambar 19 Grafik hubungan antara waktu terhadap ln (a+x) suhu 40°C.....	34
Gambar 20 Grafik Hubungan waktu terhadap 1/A reaksi orde 2 suhu 0°C	34
Gambar 21 Grafik Pengaruh 1/T terhadap ln k	35
Gambar 22 % Hidrogen yang dihasilkan pada variasi (A) tekanan dan (B) temperatur	38

Gambar 23 Kapasitas penyerapan Hidrogen pada tekanan dan suhu bervariasi ..	39
Gambar 24 Kapasitas penyimpanan hydrogen	40
Gambar 25 Spektra FTIR Natrium Borohidrat (NaBH_4) Hasil Penyimpanan Hidrogen	41
Gambar 26 Grafik hubungan antara waktu terhadap $\ln(a+x)$ suhu 0°C	52
Gambar 27 Grafik hubungan antara waktu terhadap $\ln(a+x)$ suhu 15°C	53
Gambar 28 Grafik hubungan antara waktu terhadap $\ln(a+x)$ suhu 25°C	55
Gambar 29 Grafik hubungan antara waktu terhadap $\ln(a+x)$ suhu 35°C	56
Gambar 30 Grafik hubungan antara waktu terhadap $\ln(a+x)$ suhu 40°C	57
Gambar 31 Grafik hubungan waktu dan $1/A$	58
Gambar 32 Grafik hubungan $1/T$ terhadap $\ln k$	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 sifat fisika dan kimia natrium borohidrat	11
Tabel 2 Efisiensi penyimpanan volumetrik larutan NaBH_4	14
Tabel 3 Variasi percobaan dengan rancangan secara DOE.....	21
Tabel 4 Laju Produksi Hidrogen dari Hidrolisis NaBH_4 pada temperatur bevariasi.....	30
Tabel 5 Kapasitas Hidrogen yang tersimpan pada variasi tekanan dan temperatur	37

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Data digital XRD material Natrium borohidrat (NaBH_4)	40
Lampiran 2 Data digital XRD material Natrium Metaborat (NaBO_2).....	47
Lampiran 3 Volume Produksi Gas Hidrogen Pada Variasi Suhu Berdasarkan Reaksi Hidrolisis Natrium Borohidrat (NaBH_4)	48
Lampiran 4 Kelajuan Produksi Gas Hidrogen Pada Variasi Suhu Berdasarkan Reaksi Hidrolisis Natrium Borohidrat (NaBH_4)	50
Lampiran 5 Tetapan laju reaksi Orde 1	52
Lampiran 6 Tetapan Laju Reaksi Orde 2	58
Lampiran 7 Energi Aktivasi	59
Lampiran 8 Kapasitas Penyimpanan Hidrogen Pada Tekanan dan Temperatur Bervariasi dengan Material NaBO_2 Menggunakan Aplikasi DOE ..	60
Lampiran 9 Data Recovery Kapasitas Penyimpanan Hidrogen Pada Tekanan dan Temperatur Bervariasi dengan Material NaBO_2	61
Lampiran 10 Bagan Reaktor Hidrolisis Natrium Borohidrat	62
Lampiran 11 Skema Alat Penyimpanan Hidrogen	63

BAB I

PENDAHULUAN

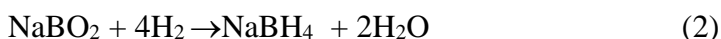
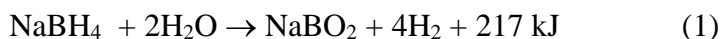
1.1 Latar Belakang

Cadangan energi minyak mentah Indonesia akan habis dalam kurun waktu 22,99 tahun, sedangkan untuk gas selama 58,95 tahun dan batubara selama 82,01 tahun. Hasil perhitungan ini menggunakan asumsi bahwa tidak ditemukan lagi ladang-ladang baru sebagai sumber energi fosil. Cadangan energi dapat meningkat (bertahan lama) apabila ditemukan ladang-ladang yang baru (Elinur *et al.*, 2010).

Energi adalah salah satu persyaratan dasar dalam kehidupan sehari-hari, seperti memasak, membersihkan rumah, bekerja pada komputer dan berangkat ke tempat kerja. Permintaan energi dunia terus meningkat seiring meningkatnya pertumbuhan populasi manusia serta pembangunan ekonomi. Saat ini, sekitar 90% dari kebutuhan energi dipenuhi oleh bahan bakar fosil. Meningkatnya permintaan energi di seluruh dunia, menyebabkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis, hal ini karena bahan bakar fosil adalah sumber non-energi terbarukan. Selain itu, bahan bakar fosil merupakan penyumbang utama emisi gas rumah kaca yang merugikan pada kesehatan manusia dan lingkungan dalam jangka panjang (Rusman and Dahari, 2016). Hidrogen merupakan unsur terbanyak dalam tata surya dan merupakan unsur kesepuluh dalam atmosfer bumi. Hidrogen dapat disintesis dari bahan alam melalui reaksi kimia sehingga tingkat ketersediaan hidrogen sangat tinggi sebagai energi terbarukan. Sifat-sifat hidrogen yang menguntungkan tersebut menjadikannya sebagai salah satu bahan bakar terbarukan (Pinto *et al.*, 2006).

Hidrogen dapat disintesis dari berbagai senyawa kimia karena hampir semua senyawa kimia mengandung unsur hidrogen. Salah satu senyawa itu adalah Natrium borohidrat (NaBH_4). Senyawa ini sebenarnya masih jarang digunakan untuk sintesis hidrogen. Hal ini karena pada prosesnya, hidrolisis NaBH_4 mengalami kesulitan seperti reaksinya yang berlangsung spontan sehingga sulit untuk menahan dan melepaskan gas hidrogen sesuai keinginan (Li and Kim, 2012)

Penggunaan NaBH_4 sebagai senyawa penghasil hidrogen dinilai memiliki beberapa keuntungan di antaranya yaitu penggabungan antara reaksi pelepasan dan penyimpanan hidrogen.



Reaksi (1) di atas adalah reaksi pelepasan gas hidrogen dari NaBH_4 yang juga diikuti pembentukan senyawa NaBO_2 . Reaksi ini sebenarnya berlangsung secara *irreversible*.

Natrium borohidrat (NaBH_4) adalah hidrida alkali yang memenuhi target kepadatan energi DOE 2015 untuk bahan penyimpanan hydrogen (Santos and Sequeira, 2010). Natrium borohidrida (NaBH_4) terkenal sebagai sumber hidrogen karena kapasitas penyimpanan hidrogen yang tinggi dari 10,8% berat tergantung pada koefisien hidrasinya (Nunes *et al.*, 2016). Beberapa material yang telah digunakan sebagai penyimpanan gas hidrogen yakni material-material anorganik seperti oksida logam, hibrida, keramik, zeolit, maupun golongan lempung. Beberapa jenis material (umumnya logam ringan) diyakini memiliki kemampuan menyerap hidrogen dalam jumlah besar. Salah satunya adalah Magnesium (Mg) yang dianggap sebagai salah satu kandidat potensial, karena memiliki kemampuan menyerap hidrogen dalam jumlah besar (7,6 wt%), ringan dan tersedia di alam. Namun Mg masih memiliki kelemahan, yaitu kinetika reaksinya sangat lambat serta temperatur operasi yang sangat tinggi (300°C) (Rahwanto *et al.*, 2009).

Reaksi hidrolisis NaBH_4 merupakan reaksi produksi gas hidrogen, dimana reaksi berlangsung eksoterm. Selanjutnya natrium metaborat yang dihasilkan dari proses hidrolisis dapat digunakan sebagai penyimpan hydrogen (Santos and Sequeira, 2010). Sehingga dari reaksi yang berkebalikan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai produksi dan penyimpanan hidrogen. Sesungguhnya pembentukan NaBO_2 yang dapat dikendalikan reaksinya secara fisika, yaitu : temperatur dan tekanan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Li and Kim (2012) bahwa pengaruh suhu reaksi pada laju produksi hydrogen lebih jelas pada suhu rendah. Selain itu menurut Ou *et al.* (2013) tekanan maksimum penyerapan hydrogen pada 2 bar. Penelitian ini diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari uji pelepasan dan penyimpanan gas hidrogen dengan menggunakan media

$\text{NaBH}_4/\text{NaBO}_2$, sebagai fungsi dari pada tekanan, temperatur dan waktu. Instrumen FT-IR memberikan informasi gugus fungsi yang terdapat pada senyawa (Gunawan and Azhari, 2010). XRD merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya kristalin dalam material-material benda dan serbuk, untuk menganalisis sifat-sifat (Najah, 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Proses penyerapan hydrogen sebagai bahan bakar fuel cell umumnya menggunakan NaOH dan katalis pada reaksi hidrolisis NaBH_4 . Sedangkan pada penyimpanan hidrogen menggunakan natrium metaborat umumnya menggunakan MgH_2 . NaBH_4 yang banyak digunakan untuk produksi hidrogen umumnya menggunakan katalis dan NaOH sehingga didapatkan NaBO_2 yang nantinya akan digunakan sebagai storage hidrogen. Reaksi pembentukan NaBO_2 dari NaBH_4 umumnya dipengaruhi secara kimia yaitu dengan penambahan katalis dan NaOH sebagai inhibitor, tetapi pengendalian reaksi secara fisika (pengaruh temperatur dan tekanan) tanpa pengaruh secara kimia belum pernah dilakukan sebelumnya.

Menurut Li and Kim (2012) penggunaan NaOH dalam proses pembentukan hydrogen dengan natrium borohidrat akan memperlambat laju reaksi sehingga pembentukan hidrogen kurang maksimal. Selanjutnya menurut Chen *et al.* (2017) penggunaan MgH_2 dalam proses penyimpanan hidrogen menyebabkan biaya produksi lebih mahal. Untuk memperbaiki rangkaian proses produksi hidrogen tersebut maka digunakan tahapan sebagai berikut agar pelepasan hidrogen dari natrium borohidrat maksimal, maka dalam proses tersebut tidak ditambahkan NaOH dan katalis namun reaksi dikendalikan secara fisika dengan mengatur temperatur proses. Sedangkan sebagai pengganti MgH_2 dalam proses penyimpanan hidrogen digunakan hidrogen murni pada tekanan dan temperature bervariasi. Temperature yang digunakan pada pelepasan hidrogen adalah 0°C , 15°C , 25°C , 35°C , 40°C sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Li and Kim (2012) sedangkan temperature dan tekanan yang digunakan pada proses penyimpanan hidrogen adalah 25°C , 30°C , 40°C dan 1, 2, 3 bar sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ou *et al.*, 2013).

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat NaBO_2 dari reaksi hidrolisis NaBH_4 .
2. Menentukan volume hidrogen dan laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis NaBH_4 menghasilkan NaBO_2 .
3. Menentukan kristalinitas dan gugus fungsi senyawa dengan menggunakan karakterisasi XRD dan FTIR.
4. Menentukan energi aktivasi pada produksi hidrogen dari reaksi hidrolisis NaBH_4 .
5. Menentukan pengaruh temperatur dan tekanan gas hidrogen terhadap kapasitas penyimpanan hidrogen dari NaBO_2 .

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan gambaran tentang reaksi pelepasan dan penyimpanan hidrogen sebagai bahan bakar fuel cell melalui media $\text{NaBH}_4/ \text{NaBO}_2$. Reaksi hidrolisis pada natrium hidrolisis berlangsung secara irreversible, sehingga pada reaksi dapat berlangsung pelepasan dan juga penyimpanan hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad H. 2001. Unsur Kimia. PT Radiokimia: Bandung.
- Alimah S., Dewita E. 2008. Pemilihan Teknologi Produksi Hidrogen Dengan Memanfaatkan Energi Nuklir. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. 10(2).
- Amendola S. C., Sharp-Goldman S. L., Janjua M. S., Spencer N. C., Kelly M. T., Petillo P. J., Binder M. 2000. A Safe, Portable, Hydrogen Gas Generator Using Aqueous Borohydride Solution And Ru Catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*. 25(10): 969-975.
- Chen W., Ouyang L. Z., Liu J. W., Yao X. D., Wang H., Liu Z. W., Zhu M. 2017. Hydrolysis And Regeneration Of Sodium Borohydride (NaBH_4) – A Combination Of Hydrogen Production And Storage. *Journal of Power Sources*. 359: 400-407.
- Damunir. 2007. Aspek Kinetika Reaksi Kernel U_3O_8 Dengan Gas H_2 Terhadap Karakteristik Energi Aktivasi, Konstanta Laju Reaksi Dan Rasio O/U Kernel UO_2 . *Jurnal Teknik Bahan Nuklir*. 3(2): 49-60.
- Dewi E. L. 2011. Potensi Hidrogen sebagai Bahan Bakar untuk Kelistrikan Nasional.
- Durbin D., Malardier-Jugroot C. 2013. Review Of Hydrogen Storage Techniques For On Board Vehicle Applications. *International journal of hydrogen energy*. 38(34): 14595-14617.
- Elinur, Priyarsono D. S., Tambunan M., Firdaus M. 2010. Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*. 2(ISSN 2087 - 409X): 97-119.
- Fisli A., Ariyani A., Wardiyati S., Yusuf S. 2012. Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif Untuk Meyerap Thorium. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13: 192 - 197.
- Godínez-Salomón F., Hallen-López M., Solorza-Feria O. 2012. Enhanced Electroactivity For The Oxygen Reduction On Ni/Pt Core-Shell Nanocatalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(19): 14902-14910.
- Gunawan B., Azhari C. D. 2010. Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG). *Jurnal Sains dan Teknologi*. 3(2).
- Husin H. 2012. Katalis Bimetal Cu-Cr/Diatomea Untuk Hidrogenasi Minyak Sawit. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. 4(2).

- Lang C., Jia Y., Liu J., Wang H., Ouyang L., Zhu M., Yao X. 2017. NaBH₄ Regeneration from NaBO₂ by High-Energy Ball Milling and Its Plausible Mechanism. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(18): 13127-13135.
- Li Q., Kim H. 2012. Hydrogen Production From NaBH₄ Hydrolysis Via Co-ZIF-9 Catalyst. *Fuel Processing Technology*. 100: 43-48.
- Loghmani M. H., Shojaei A. F. 2014. Hydrogen Production Through Hydrolysis Of Sodium Borohydride: Oleic Acid Stabilized Co-La-Zr-B Nanoparticle as A Novel Catalyst. *Energy*. 68: 152-159.
- Mao J., Gu Q., Guo Z., Liu H.-K. 2015. Sodium Borohydride Hydrazinates: Synthesis, Crystal Structures, And Thermal Decomposition Behavior. *Journal of Materials Chemistry*. 3(21): 11269-11276.
- Marchionni A., Bevilacqua M., Bianchini C., Chen Y. X., Filippi J., Fornasiero P., Lavacchi A., Miller H., Wang L., Vizza F. 2013. Electrooxidation Of Ethylene Glycol And Glycerol On Pd-(Ni-Zn)/C Anodes in Direct Alcohol Fuel Cells. *ChemSusChem*. 6(3): 518-528.
- Muliawati N. 2008. Hidrogen Sebagai Sel Bahan Bakar: Sumber Energi Masa Depan. *Makalah terpublikasi Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Lampung*. 15-27.
- Najah F. B. 2018. Preparasi ZrO₂ Teremban Pada Abu Daun Bambu Sebagai Katalis Biodiesel Minyak Bekatul Menggunakan Metode Microwave.
- Nunes H. X., Ferreira M. J. F., Rangel C. M., Pinto A. M. F. R. 2016. Hydrogen Generation And Storage By Aqueous Sodium Borohydride (NaBH₄) Hydrolysis For Small Portable Fuel Cells (H₂-PEMFC). *International journal of hidrogen energi*. 41: 15426-15432.
- Oemry A. 2008. Pembuatan Dan Karakterisasi Sel Elektrolisis Air-Hidrogen Tekanan Tinggi Dengan Separator Nafion. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 10(1): 54 - 59.
- Ou T., Panizza M., Barbucci A. 2013. Thermochemical Recycling Of Hydrolyzed NaBH₄. Part II: Systematical Study Of Parameters Dependencies. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(36): 15940-15945.
- Pancawati L. 2016. Preparasi Dan Karakterisasi Limbah Biomaterial Cangkang Keong Mas (*Pomacea Canaliculata* Lamarck) Dari Daerah Peringsewu Sebagai Bahan Dasar Biokeramik. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Pangesthiaji G., Purwaningsih H. 2013. Pengaruh Milling Time Terhadap Pembentukan Fasa γ -MgAl Hasil Mechanical Alloying. *Jurnal Teknik Pomits*. 2(1): 2301-9271.

- Perez-Herranz V., Pérez-Page M., Beneito R. 2010. Monitoring And Control Of A Hydrogen Production And Storage System Consisting Of Water Electrolysis And Metal Hydrides. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35(3): 912-919.
- Pinto A. M. F. R., Falcão D. S., Silva R. A., Rangel C. M. 2006. Hydrogen Generation And Storage From Hydrolysis Of Sodium Borohydride In Batch Reactors. *International journal hidrogen energi*. 31: 1341-1347.
- Rahwanto A., Mustanir, Fauzi1, Jalil Z. 2009. Fabrikasi Material Nanokristal Sic Sebagai Katalis Pada Material Penyimpan Hidrogen. *Jurnal Sains MIPA*. 15(2): 71-74.
- Rao C. S., Singh D., Sekhar R., Rangarajan J. 2011. Pt–Co Electrocatalyst With Varying Atomic Percentage Of Transition Metal. *International Journal of Hydrogen Energy*. 36(22): 14805-14814.
- Rusman N. A. A., Dahari M. 2016. A Review On The Current Progress Of Metal Hydrides Material For Solid-State Hydrogen Storage Applications. *International Journal Hidrogen Energi*. 1-19.
- Santos D. M. F., Sequeira C. A. C. 2010. On The Electrosynthesis Of Sodium Borohydride. *International Journal Of Hidrogen Energi*. 35: 9851-9861.
- Silviyah S., S. C., Widodo, Masruroh. 2003. Penggunaan Metode FT-IR (Fourier Transform Infra Red) Untuk Mengidentifikasi Gugus Fungsi Pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suwarno H. 2012. Percobaan Pengisian-Pengeluaran Hidrogen Sebuah Tangki Simpan Hidrogen Padat. Tangerang: Batan.
- Teichmann D., Stark K., Müller K., Zöttl G., Wasserscheid P., Arlt W. 2012. Energy Storage In Residential And Commercial Buildings Via Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC). *Energy & Environmental Science*. 5(10): 9044.
- Wu Y., Mohring R. M. 2003. Sodium Borohydride For Hydrogen Storage. *Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem*. 48(2): 940.
- Xu D., Dai P., Liu X., Cao C., Guo Q. 2008. Carbon-Supported Cobalt Catalyst For Hydrogen Generation From Alkaline Sodium Borohydride Solution. *Journal of Power Sources*. 182(2): 616-620.