

SILIKON HASIL REDUKSI SILIKA DARI FLY ASH BATUBARA UNTUK PEMBUATAN HIDROGEN

SILICA-REDUCED SILICON FROM COAL FLY ASH FOR HYDROGEN MANUFACTURING

Eti Nurmahdani¹, Robert Junaidi², Indah Purnamasari³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknologi Kimia Industri

Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang

e-mail : ¹etinrmhdni01@gmail.com, ²robert.junaidi@polsri.ac.id, ³indah_chemistry@yahoo.com

Limbah fly ash batubara merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan melalui proses pembakaran batubara dari PLTU. Fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2) yang mencapai 40%. Silika mempunyai banyak manfaat dalam dunia industri, salah satunya dapat digunakan sebagai bahan pembuatan silikon (Si). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat silikon dan melakukan pemurnian terhadap silikon yang dihasilkan dengan variasi jumlah pereduksi, dan pengaplikasian silikon untuk membuat hidrogen dengan variasi NaOH. Dalam penelitian ini isolasi silikon menggunakan variasi silika:magnesium dengan perbandingan 1:0,5 ; 1:0,8 dan 1:1. Selanjutnya, variasi NaOH dalam pembuatan hidrogen dengan konsentrasi 2 M, 2,5 dan 3 M. Metodologi yang digunakan yaitu ekstraksi silika dengan metode presipitasi, isolasi silikon dengan metode metalotermal, pemurnian silikon dengan HCl dan pembuatan hidrogen dengan NaOH. Pembuatan silikon dilakukan dengan cara mereduksi silika dengan magnesium yang kemudian di furnace selama 3 jam dengan suhu 650°C. Hasil terbaik yang diperoleh pada pembuatan silikon adalah perbandingan 1:1 dengan intensity 1905 cps dan yield yang diperoleh mencapai 92%. Si 1:1 ini kemudian digunakan untuk pembuatan hidrogen dan didapatkan volume terbesar yaitu 0,97 liter dengan kandungan gas sebesar 2,647 ppm.

Kata Kunci : Silikon, Silika, *Fly Ash* Batubara, Hidrogen, Metode Metalotermal

ABSTRACT

Coal fly ash waste is a mineral residue in fine grains produced from the coal burning process from the coal-fired power plant. Coal fly ash contains chemical elements including silica (SiO_2) which reaches 40%. Silica has many benefits in the industrial world, one of which can be used as a material for making silicone (Si). The purpose of this study is to make silicon and purify the resulting silicon with variations in the amount of reducers, and the application of silicon to make hydrogen with NaOH variations. In this study silicon insulation used silica:magnesium variations in a ratio of 1:0.5; 1:0.8 and 1:1. Furthermore, the variation of NaOH in the manufacture of hydrogen with concentrations of 2 M, 2.5 and 3 M. The methodology used is silica extraction by precipitation method, silicon isolation by metalothermal method, silicon purification with HCl and hydrogen manufacturing with NaOH. Silicone making is carried out by reducing silica with magnesium which is then in a furnace for 3 hours with a temperature of 650°C. The best result obtained at silicone manufacturing is a ratio of 1:1 with an intensity of 1905 cps and the yield obtained reaches 92%. Si 1:1 was then used for the manufacture of hydrogen and obtained the largest volume of 0.97 liters with a gas content of 2.647 ppm.

Keywords: Silicon, Silica, Coal Fly Ash, Hydrogen, Metalothermal Method

1. PENDAHULUAN

Pembakaran batubara menghasilkan dua jenis limbah yaitu abu ringan (*fly ash*) dan abu berat (*bottom ash*). Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah yang dihasilkan oleh PLTU yang berkontribusi pencemaran lingkungan (Jadhao, 2018). Abu batubara (*fly ash*) merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga di perlukan tindakan dalam penanganannya. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2021, limbah fly ash yang dihasilkan mencapai 9,7 juta ton/tahun. Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah industri yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya *fly ash*

mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan karbon. Silika merupakan salah satu komponen *fly ash* yang paling dominan jumlahnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yunita (2017) dan Kadir (2018), bahwa hasil karakterisasi pada *fly ash* menghasilkan SiO_2 dengan rata-rata 40%.

Pembuatan silika diawali dengan mengekstraksi *fly ash* dan proses untuk mendapatkan kemurnian silika yang tinggi dilakukan leaching asam menggunakan HCl 3%. Kondisi optimum metode presipitasi pada ekstraksi silika telah dilakukan oleh Retnosari (2013) yang menyatakan bahwa NaOH dengan konsentrasi 3M merupakan kondisi terbaik dalam menghasilkan silika dengan jumlah banyak, dan menurut Fatony (2016) asam yang paling efektif digunakan untuk

leaching dalam ekstraksi silika adalah HCl daripada H_2SO_4 . Silika yang telah diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai adsorber, pupuk dan juga bahan dalam pembuatan silikon. Silikon dapat diperoleh dari isolasi silika dengan menggunakan beberapa metode reduksi seperti metode metalotermal dan metode elektrolitik.

Metode metalotermal merupakan perpindahan antara oksida logam terhadap logam pereduksi (Yucel dkk, 2014). Logam yang biasanya digunakan sebagai reduktor adalah Mg, Al, dan Ca. Penelitian ini akan dilakukan untuk memperoleh silikon dengan metode metalotermal sederhana dengan pereduksi magnesium. Alasan menggunakan magnesium didasarkan pada diagram Ellingham yang menunjukkan bahwa magnesium merupakan logam aktif yang dapat digunakan sebagai agen pereduksi. Alasan kedua penggunaan magnesium juga karena produk reaksi yang dihasilkan selain silikon dapat dengan mudah dihilangkan dengan cara pencucian asam (*leaching*).

Temperatur optimal untuk mereduksi silika dengan menggunakan metode metalotermal sederhana adalah $650^\circ C$ (Nazilah dkk, 2015). Hal ini disebabkan magnesium mulai meleleh pada suhu $650^\circ C$. Namun, hasil dari pemurnian silikon ini masih terbilang sedikit dikarenakan variasi antara silika dan magnesium pada isolasi silikon dan karena pada saat reaksi reduksi terjadi, logam magnesium cenderung bereaksi terlebih dahulu dengan oksigen yang berada di udara bebas sehingga proses untuk mereduksi SiO_2 tidak dapat berjalan secara sempurna.

Silikon mempunyai manfaat yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Swihart dkk, 2013) silikon yang berukuran nano dapat digunakan dalam memproduksi hidrogen dengan bahan baku air dan larutan basa seperti NaOH dan KOH. Pada saat dikombinasikan dengan air, partikel-partikel silikon tersebut bereaksi dan membentuk asam silikat serta hidrogen yang berpotensi sebagai sumber energi untuk bahan bakar. Struktur nanosilikon dianggap sebagai bahan yang baik untuk pemisahan air fotoelektrokimia dan fotokatalitik untuk menghasilkan hidrogen. Elektroda berdasarkan susunan nano silikon yang digabungkan dengan katalis yang berbeda serta struktur silikon berpori, digunakan untuk menghasilkan hidrogen dengan metode yang sederhana serta biaya yang cukup terjangkau dibandingkan dengan produksi hidrogen dengan menggunakan hidrolisis komposit magnesium (MgH_2 , Mg-oksida, Mg_2Si , Mg-graphit) dan logam natrium (Mussabek dkk, 2020).

Berdasarkan data dan latar belakang masalah yang muncul, tujuan penelitian ini adalah melakukan pembuatan silikon dari *fly ash* batubara dengan

menggunakan metode metalotermal sederhana dengan memvariasikan jumlah silika dan magnesium yang akan digunakan yang kemudian diaplikasikan dalam pembuatan hidrogen serta mengetahui keoptimalan variasi konsentrasi NaOH dalam proses pembuatan hidrogen.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei - Juli 2022 di Laboratorium Satuan Proses Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan *Furnace, oven*, cawan porselen, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, neraca digital, corong kaca, spatula, pengaduk kaca, kertas saring, gelas kimia, gelas ukur, hotplate, erlenmeyer, pipet ukur, kertas saring *whatman* no 41 aluminium foil dan mortar. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *fly ash* batubara, NaOH, HCl, Magnesium dan akuades.

Preparasi *Fly Ash* Batubara

Fly ash direndam dalam air panas selama 2 jam untuk mengekstrak bahan organik yang larut dalam air sehingga tidak menjadipengotor dalam proses ekstraksi silika. Setelah 2 jam *fly ash* kemudian disaring, dikeringkan dan dioven dengan suhu $120^\circ C$ selama 6 jam.

Ekstraksi Silika

Sebanyak 25 gram sampel direndam dalam 150 mL NaOH dengan konsentrasi 3 M. Sampel dipanaskan pada suhu $65-70^\circ C$ disertai pengadukan dengan kecepatan 150 rpm dan dibiarkan selama 3 jam. Sampel disaring dan filtrat (mengandung silika terlarut) ditampung. Filtrat ditambahkan HCl pekat untuk mengendapkan silika. Penambahan HCl dilakukan secara bertahap hingga pembentukan endapan silika tidak terbentuk kembali. Penambahan HCl dilakukan pada $pH \pm 7$. Endapan yang diperoleh dipisahkan dan dicuci dengan akuades panas untuk menghilangkan kelebihan asam. Silika yang diperoleh dari perlakuan ini dikeringkan dalam oven pada suhu $100-110^\circ C$ selama ± 4 jam untuk menghilangkan air.

Pembuatan Silikon dengan Metode Metalotermal Sederhana

Mengambil sampel silika murni kemudian dimasukkan ke dalam cawan porselen. Reduksi dilakukan dengan penambahan bubuk magnesium dengan perbandingan 1:0,5 silika/Mg. Dihomogenkan campuran silika dan magnesium tersebut menggunakan

pengaduk. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 650°C selama 3 jam. Mengulangi perlakuan pada proses reduksi dengan variasi komposisi pereduksi dengan silika dengan perbandingan 1:0,8 dan 1:1 silika/Mg.

Pemurnian Silikon

Sampel hasil dari proses reduksi dimasukkan ke dalam beaker gelas dan ditambahkan 150 mL HCl 2 M lalu dipanaskan pada suhu 80°C sambil distirer selama 3 jam kemudian sampel didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring whatman No.41. Penyaringan menghasilkan padatan dan filtrat. Padatannya dicuci dengan akuades hingga bersifat netral lalu dikeringkan dan ditimbang. Sampel silikon hasil reduksi kemudian dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Aplikasi Silikon untuk Pembuatan Hidrogen

Menimbang silikon sebanyak 2 gr. Memasukan silikon ke dalam reaktor berpengaduk. Menambahkan larutan NaOH sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam reaktor. Memasangkan balon pada reaktor untuk menangkap gas hidrogen yang dihasilkan. Kemudian silikon dan larutan NaOH direaksikan dalam reaktor berpengaduk 100 rpm selama ±15 menit dengan dipanaskan sampai suhu ±60 °C.

Gas Hidrogen yang tertampung dalam balon akan dianalisa menggunakan alat *Multi Gas Detector Analyzer* dan dapat dihitung volume Gas Hidrogen menggunakan rumus volume bola

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Dimana :

V = Volume H₂ (cm³)

π = 22/7 atau 3,14

r = jari-jari balon (cm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

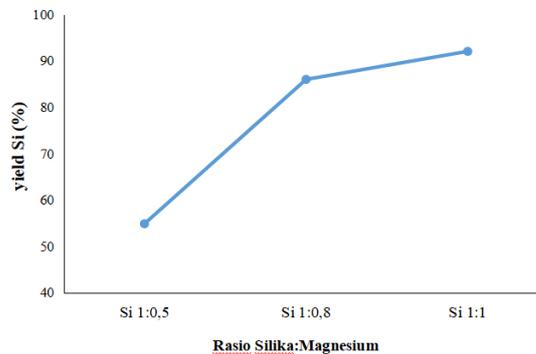
Pengaruh Rasio Silika:Magnesium terhadap Si yang Dihasilkan

Hasil pembuatan silikon berdasarkan pengaruh rasio silika dan magnesium yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pembuatan Silikon

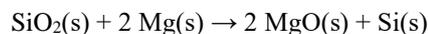
No	Si:Mg		Suhu (°C)	Waktu (jam)	Si (gr)
	Rasio	Berat (gr)			
1	1:0,5	15	650	3	8,23
2	1:0,8	18			15,48
3	1:1	20			18,41

Pengaruh rasio silika:magnesium terhadap *yield* Si dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Pengaruh rasio silika:magnesium terhadap *yield* Si

Dari gambar 1 terlihat bahwa jumlah *yield* Si yang terdapat pada ketiga sampel dengan variasi rasio Silika:Magnesium meningkat. Semakin banyak magnesium yang digunakan maka semakin besar pula silikon yang diperoleh hal ini. *Yield* tertinggi sebesar 92% yaitu pada perbandingan 1:1. Magnesium merupakan pereduksi yang dapat menghasilkan silikon dengan cara metalotermal sederhana serta produk reaksi yang dihasilkan selain silikon mudah dihilangkan dengan proses pencucian (leaching) dengan menggunakan HCl (Novita,2018). Penelitian yang sama dilakukan oleh Ainun (2017). Hasil reduksi berupa padatan berwarna coklat kehitaman dan padatan putih. Padatan putih yang terbentuk merupakan bukti bahwa MgO telah terbentuk. Padatan coklat kehitaman merupakan silikon polikristalin. Pencucian hasil dilakukan dengan air dan HCl, dimana MgO dapat larut oleh air dan sisa magnesium akan larut dengan HCl. Magnesium akan mereduksi silika menjadi silikon seperti reaksi dibawah ini :



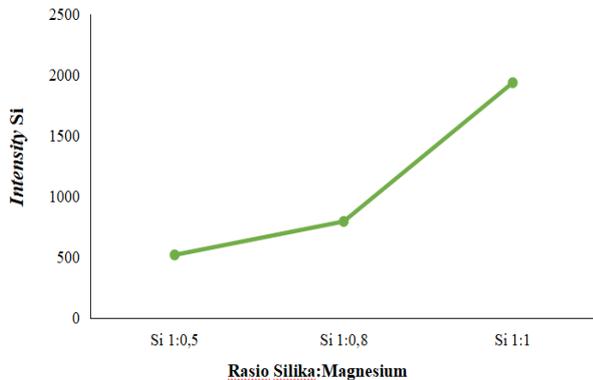
Rasio Silika:Magnesium terhadap *Intensity* yang Dihasilkan

Analisis XRD bertujuan untuk memastikan kualitas sampel pada silikon yang dihasilkan. Hasil analisa selanjutnya dengan menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*), data mengenai analisa si dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisa XRD

No	Si:Mg		Suhu (°C)	Waktu (jam)	Si (gr)	Hasil Pemeriksaan
	Rasio	Berat (gr)				<i>Intensity</i> Si (cps)
1	1:0,5	15	650	3	8,23	521
2	1:0,8	18			15,48	796
3	1:1	20			18,41	1937

Grafik pengaruh rasio silika:magnesium terhadap *intensity* Si dalam tiga sampel tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Pengaruh rasio silika:magnesium terhadap *intensity* Si

Intensity yang paling tinggi ditunjukkan pada sampel ketiga dengan perbandingan 1:1 yang mencapai 1937 cps. Besar kecil nya *intensity* yang dihasilkan akan berpengaruh dengan kualitas kristal yang diperoleh. *Intensity* yang tinggi pada hasil analisa XRD menunjukkan keteraturan letak atom-atom dalam kristal semakin baik (Wida Afosma,2017). Jadi berdasarkan kualitas kristal Si yang paling baik terdapat pada sampel 1:1. Hal ini berbanding lurus dengan *yield* yang dihasilkan dimana pada sampel 1:1 *yield* yang diperoleh mencapai 92,05%.

Pada penelitian yang dilakukan Andarini dkk (2018) peneliti mendapatkan kandungan Si hanya pada rasio 1:0,8 saja dengan variasi 1:0,8; 1:1,5; 1:2 dan 1:2,5. Jadi hasil yang diperoleh pada penelitian ini meningkat daripada penelitian sebelumnya dimana setiap variasi terdapat kandungan Si. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pemanasan yang dilakukan berbeda. Penelitian ini dilakukan dengan memanaskan sampel di *furnace* secara tertutup agar logam magnesium dapat bereduksi secara sempurna dengan SiO₂ tanpa bereaksi terlebih dahulu dengan oksigen di udara bebas.

Pengaruh Silikon (Si) yang digunakan terhadap Pembuatan Gas Hidrogen

Sampel Si kemudian digunakan untuk percobaan pembuatan gas hidrogen, hasil volume gas hidrogen dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Volume Gas Hidrogen

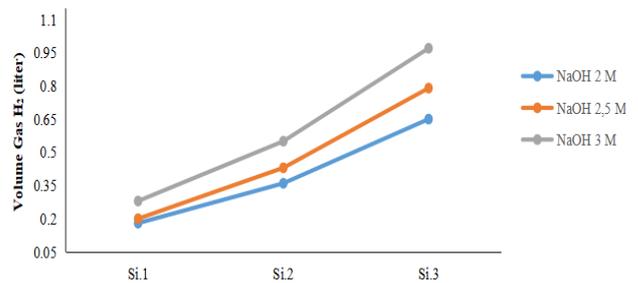
NaOH (M)	Si		Suhu (°C)		Waktu (menit)	Diameter Penampung (cm)	Volume H ₂ (m ³)	Volume H ₂ (liter)
	Rasio	Berat(g)	awal	akhir				
2	si.1	2	28	60	10	7,0	0,18x10 ⁻³	0,18
	si.2					8,9	0,36x10 ⁻³	0,36
	si.3					10,8	0,65x10 ⁻³	0,65
2,5	si.1	2	28	60	10	7,3	0,20x10 ⁻³	0,20
	si.2					9,4	0,43x10 ⁻³	0,43
	si.3					11,5	0,79x10 ⁻³	0,79
3	si.1	2	28	60	10	8,2	0,28x10 ⁻³	0,28
	si.2					10,2	0,55x10 ⁻³	0,55
	si.3					12,3	0,97x10 ⁻³	0,97

Penampung yang memiliki volume gas yang paling besar kemudian dianalisa menggunakan alat *Gas Detector Analyzer*. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Gas Hidrogen

No	Perlakuan Sampel		Hasil Pemeriksaan	
	NaOH (M)	Si 1:1 (gr)	H ₂ (ppm)	EX (%LEL)
1	3	2	1,588	21
2			1,765	29
3			2,647	34

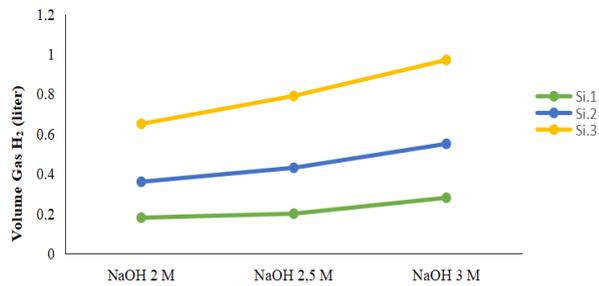
Grafik pengaruh Silikon (Si) yang digunakan terhadap pembuatan Gas Hidrogen dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara Silikon terhadap Kandungan Gas H₂

Dari gambar 3 dapat dilihat semakin besar kandungan silikon yang digunakan maka semakin besar pula gas hidrogen yang diperoleh. Volume gas pada penampung yang tertinggi adalah 0,97 liter dan menggunakan *Gas Detector Analyzer* diperoleh H₂ pada penampung sebesar 2,647 ppm. Penelitian yang sama dilakukan oleh Akiyama dkk (2009) dimana peneliti menggunakan reaktor dengan adanya pemanas dan silikon dengan kandungan 96% sebanyak 33,4 gr. Tekanan gas yang diperoleh mencapai 10,9 Mpa dengan suhu 100°C. Namun karena penelitian ini dilakukan dengan metode sederhana dan silikon yang digunakan sedikit maka tekanan tidak terdeteksi sehingga hanya dapat melakukan analisa pada volume dan gas pada penampung saja.

Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Pembuatan Gas Hidrogen



Gambar 4. Hubungan antara Konsentrasi NaOH dan Kandungan Gas H₂

Dari gambar 4 terlihat bahwa variasi konsentrasi NaOH yang digunakan berbanding lurus dengan kandungan gas H₂. Semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan maka semakin besar pula volume gas yang terbentuk. Penelitian yang sama dilakukan oleh Akiyama dkk (2009) dimana peneliti menggunakan konsentrasi NaOH dengan variasi 1 mol/L dan 5 mol/L diperoleh tekanan tertinggi gas H₂ mencapai 10,2 Mpa pada konsentrasi NaOH 5 mol/L.

Gauhar dkk (2020) melakukan percobaan yang sama dimana peneliti memvariasikan konsentrasi NaOH 0,15 M; 0,25 M; 0,51 M dan 1,02 M. Diperoleh massa H₂ tertinggi yaitu 6,2 % pada NaOH 1,02 M. Pada pembentukan hidrogen NaOH merupakan basa kuat sebagai pengoksidasi yang lebih baik dari pada KOH dikarenakan permabilitas permukaan yang lebih baik lapisan oksida ke ion Na⁺ yang lebih kecil daripada ion K⁺ yang lebih besar dan hasilnya akses yang lebih baik dari zat aktif OH⁻ ke antarmuka Si (Mussabek, 2020).

Selain pengaruh Si dan konsentrasi NaOH metode yang dilakukan pada pembuatan gas hidrogen terdapat pemanas dan tanpa pemanas. Penelitian yang dilakukan oleh Akiyama dkk (2009) menunjukkan adanya pemanas pada alat pembuatan gas hidrogen. Namun Mark Swihart dkk (2013) mengatakan bahwa reaksi tersebut tidak memerlukan cahaya, panas, ataupun listrik. Berdasarkan kedua metode tersebut, penelitian ini dilakukan dengan mencoba kedua metode tersebut. Ketika Si dan NaOH ditambahkan kemudian diaduk dengan kecepatan 100 rpm tanpa pemanas tidak ada reaksi yang terjadi. Namun ketika pemanas dihidupkan terbentuklah gas pada media penampung. Suhu pada pemanas saat gas terbentuk mencapai 60°C dalam waktu 10 menit. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan Akiyama dkk (2009) dimana peneliti melakukan pemanasan dengan suhu 75°C-100°C. Jadi dari hasil penelitian, silikon dan NaOH dapat membentuk gas hidrogen dengan adanya bantuan

pemanasan namun gas yang diperoleh masih terbilang sedikit dikarenakan alat dan metode yang digunakan masih sederhana.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan yaitu perbandingan komposisi Silika: Magnesium pada pembuatan Silikon yang paling baik yaitu 1:1 dan konsentrasi NaOH yang paling optimum pada pembuatan hidrogen adalah 3 M dengan Silikon 1:1 dan gas yang diperoleh sebesar 2,647 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Akiyama Tomohiro, Hayasaka Masaki, Uesugi Hiroshi. Hydrogen Production Method dan Apparatus dan Engine Employing Hydrogen Production Apparatus. United States Patent No: US 7,493,765 B2.
- Andarini, Novita, Tanti Haryati, dan Rika Yulianti. "Pemurnian Silikon (Si) Hasil Reduksi Silika dari Fly Ash Batubara." BERKALA SAINSTEK 6, no. 1 (July 4, 2018): 49. <https://doi.org/10.19184/bst.v6i1.7933>.
- Adjiantoro B dan E. Maburi. 2010. Proses pemurnian silikon tingkat metalurgi dengan menggunakan metoda pelarutan kimia. *Majalah Metalurgi*. 5:71-78.
- Afosma, Wida. 2017. "Studi Tentang Pengaruh Jarak (Spacer) Terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn Hasil Preparasi Dengan Teknik Evaporasi Vakum". Skripsi. Yogyakarta: Fisika FMIPA UNY
- Erogbogbo, Folarin, Tao Lin, Phillip M. Tucciarone, Krystal M. LaJoie, Larry Lai, Gauri D. Patki, Paras N. Prasad, dan Mark T. Swihart. "On-Demand Hydrogen Generation Using Nanosilicon: Splitting Water without Light, Heat, or Electricity." *Nano Letters* 13, no. 2 (February 13, 2013): 451-56. <https://doi.org/10.1021/nl304680w>.
- Fatony, M. H. A. 2015. Ekstraksi Silika dari Fly ash Batubara (Studi Pengaruh Variasi Waktu Ekstraksi, Jenis Asam dan pH). Skripsi. Jember: Kimia FMIPA UNEJ.
- Gultom Syawal. 2020. SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA JURUSAN KIMIA FMIPA. Jurusan Kimia FMIPA Unimed dan IA-Kimia Unimed.
- Hecini, Mouna, Meftah Tablaoui, Salaheddine Aoudj, Baya Palahouane, Ouahiba Bouchelaghem, Samia Beddek, dan Nadjib Drouiche. "Recovery of

Silicon Carbide dan Synthesis of Silica Materials from Silicon Ingot Cutting Fluid Waste.” Separation dan Purification Technology 254 (January 2021): 117556. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117556>.

without light, heat, or electricity. Nanosilicon rapidly splits water without light, heat, or electricity (2013, January 24) retrieved 28 January 2022 URL :<https://phys.org/news/2013-01-nanosilicon-rapidly-electricity.html>.

Hu, Kaili, Shenglei Sun, Yu Wang, Youjie Wang, Jianwei Zhang, Xiaohua Zhu, dan Yusheng Niu. “Preparation and Application of Silica Quantum Dots Using Palygorskite as Silicon Source.” Applied Clay Science 211 (September 2021): 106132. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106132>.

Kristaining, Yuli Mahendra. 2007. “Analisis Polikristal Grafit Dengan Metode Difraksi Elektron Menggunakan Tabung Difraksi Teltron 2555”. Skripsi. Surakarta: Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.

Mussabek, Gauhar, Sergei A. Alekseev, Anton I. Manilov, Sergii Tutashkonko, Tetyana Nychyporuk, Yerkin Shabdan, Gulshat Amirkhanova, Sergei V. Litvinenko, Valeriy A. Skryshevsky, dan Vladimir Lysenko. “Kinetics of Hydrogen Generation from Oxidation of Hydrogenated Silicon Nanocrystals in Aqueous Solutions.” Nanomaterials 10, no. 7 (July 20, 2020):1413. <https://doi.org/10.3390/nano10071413>.

Nazilah, Ainun, Novita Andarini, dan Tanti Haryati. “Isolasi Silikon (Si) Dari Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara Dengan Metode Metalotermal,” n.d., 3.

Retnosari, Agustin. “diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains,” n.d., 72.

Silvia, Linda, Mochamad Zainuri. 2020. “Analisis Silika (SiO₂) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD”. Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, vol 16.

Simbolon Desy Istanti , Aisyah fitria Sari, Ayu Inggrias Tuty.2020. Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Alumunium Foil Dengan Bantuan Katalis Asam (HCl) dan Basa (NaOH). Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Negeri Medan.

Siswanto, Kurniati Eli. 2020. Karakteristik Silika Powder Berbasis Batuan Tras Dengan Proses Ekstraksi Dan Presipitasi. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim. Journal of Research dan Technology, Vol. 6.

Zyga Lisa. 2013. Nanosilicon rapidly splits water