

PENGARUH KONSENTRASI NaOH PADA EKSTRAK NANOSILIKA BERBASIS BATU APUNG

Erika Sempana Ginting^{(1)*}, Posman Manurung⁽¹⁾, dan Agus Riyanto⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Bandar Lampung 35145

*E-mail:erikasempana@gmail.com

Diterima (7 Mei 2018), direvisi (22 Mei 2018)

Abstract. The investigation of effect NaOH in extracting nanosilika from pumice has been carried out. The aim of research is to study the effect of variation NaOH against the amount and chemical compositions of nanosilika extract results. The extraction process is carried out with NaOH, H₂SO₄ and HCl. Variations of NaOH used are 2,0 M, 2,5 M, 3,0 M, 3,5 M and 4,0 M. Pumice powder was calcined at 500°C for 4 hours and nanosilika powder was calcined at 800°C for 5,5 hours. Nanosilika was characterized by X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffractometer (XRD) and Transmission Electron Microscopy (TEM). The results of extraction increases with increasing of NaOH concentration. XRF analysis shows that the highest amorphous nanosilika was obtained in nanosilika of NaOH 3,0 M. Diffractogram XRD shows that pumice powder formed anorthite and albite phase and nanosilika 3,0 M NaOH has amorphous phase. Based on TEM result, the particle size of amorphous nanosilika NaOH 3,0 M is in the range of 8,8-19,5 nm and the average of particle size is $(14,8 \pm 3,07)$ nm.

Key words: pumice, nanosilika, NaOH

Abstrak. Telah dilakukan penelitian untuk mengamati pengaruh konsentrasi NaOH pada ekstrak nanosilika berbasis batu apung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan NaOH terhadap jumlah dan komposisi kimia hasil ekstrak nanosilika, mengetahui fasa nanosilika yang terbentuk dan mengetahui ukuran nanosilika yang terbentuk. Proses ekstraksi dilakukan dengan NaOH, H₂SO₄, dan HCl. Variasi NaOH yang digunakan yaitu 2,0 M, 2,5 M, 3,0 M, 3,5 M dan 4,0 M. Serbuk batu apung dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam dan serbuk nanosilika dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5,5 jam. Karakterisasi dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffractometer (XRD), dan Transmission Electron Microscopy (TEM). Hasil ekstrak yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH. Analisis XRF menunjukkan nanosilika dengan kemurnian tertinggi pada nanosilika NaOH 3,0 M. Difraktogram XRD menunjukkan bahwa serbuk batu apung membentuk fasa anorthite dan fasa albite sementara nanosilika NaOH 3,0 M memiliki fasa amorf. Ukuran partikel nanosilika NaOH 3,0 M berada pada kisaran 8,8-19,5 nm dengan rata-rata $(14,8 \pm 3,07)$ nm.

Kata Kunci: batu apung, nanosilika, NaOH.

PENDAHULUAN

Nanoteknologi merupakan teknologi pada skala nano yang banyak dikembangkan oleh para ilmuwan dunia. Istilah nanoteknologi diturunkan dari istilah nanometer dan pertama kali digunakan pada tahun 1974 oleh Nario Taniguchi. Nano

berasal dari kata Yunani untuk *dwarf* yang berarti kurcaci atau kerdil [1]. Ukuran untuk teknologi skala nano berada pada kisaran 10 sampai 100 nanometer [2].

Terciptanya nanoteknologi tidak lepas dari adanya material berukuran nano sebagai penyusunnya, dimana material skala nano disebut nanomaterial.

Nanomaterial memiliki karakteristik fisik material lainnya yang berukuran lebih besar, sehingga nanomaterial menghasilkan material baru dengan kemajuan teknologi yang lebih menjanjikan. Sifat material umumnya bergantung pada komposisi kimia serta lingkungan sekitarnya.

Dalam kaitannya dengan volume, penurunan ukuran partikel dan luas permukaan menyebabkan peningkatan jumlah molekul atau atom di permukaan yang berpotensi mengubah reaktivitas permukaan [3]. Nanomaterial menarik minat para ilmuwan untuk meneliti dan mengembangkan beberapa material menjadi skala nano seperti, nanosilika[4], nanotitania[5], nanoperak [6], nanoalumina [7], nanokarbon[8], nanoemas [9] , nano-ZnO, nano-Cu, dan nano-Pb[10].

Nanonanosilika adalah salah satu material yang banyak diaplikasikan di bidang industri, seperti produksi semen, keramik, kromatografi, katalisator, produksi material maju (seperti SiC, Si₃N₃, unsur Si dan Mg₂Si) dan juga digunakan pada pengolahan air limbah [11] .

Nanosilika memiliki ketersediaan yang sangat melimpah di alam dengan unsur utama silikon. Silikon (Si) merupakan unsur utama yang terdapat di kerak bumi dengan bentuk senyawa nanosilika (*silicon dioxide*) dengan rumus molekul SiO₂. Nanosilika di alam dapat diperoleh dari mineral dan nabati. Nanosilika mineral bisa didapatkan dari batu apung[12], pasir kuarsa[13] dan nanosilika yang berasal dari bahan nabati bisa didapatkan dari sekam padi[14], tongkol jagung, dan ampas tebu[15]. Selain pasir kuarsa, batu apung merupakan mineral yang memiliki kandungan nanosilika tinggi hingga 60,82% [16]. Batu apung disebut juga *pumice* merupakan salah satu batu endapan vulkanik yang banyak ditemukan di Indonesia. Indonesia salah satu negara yang terkenal mempunyai gunung api aktif terbanyak di dunia, yaitu sekitar 30% gunung aktif di dunia berada di

dan kimia yang lebih spesifik dibandingkan Indonesia[17]. Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki gunung aktif yang pernah meletus pada tahun 1883[18].

Letusan tersebut mengakibatkan adanya endapan vulkanik yang tersebar di kawasan yang terkena dampak letusan. Beberapa daerah di Lampung yang terkena dampak letusan tersebut yaitu Kabupaten Lampung Selatan [19] dan tersebar ke beberapa daerah di Lampung termasuk Kabupaten Tanggamus melalui letusan material-material vulkanik ataupun tsunami yang terjadi[20]. Letusan tersebut mengakibatkan ada banyak batu apung hasil letusan gunung Krakatau yang tersebar. Sebagai pemanfaatan dari batu apung yang cukup melimpah di Lampung, maka dilakukanlah penelitian untuk mensintesis nanosilika dari batu apung yang diketahui memiliki kandungan nanosilika yang cukup tinggi. Pada dasarnya, kelarutan nanosilika di air akan semakin tinggi bila temperatur naik, pH semakin tinggi, serta alkalinitas semakin tinggi. Menurut[21], senyawa nanosilika mudah larut pada suasana basa dan akan mengendap pada suasana asam. Nanosilika dapat larut dengan basa kuat seperti hidoksida alkalin pada pH di atas 9. Menurut [12], NaOH merupakan salah satu basa kuat yang dapat digunakan untuk mengekstraksi nanosilika dengan kemurnian hingga 94%.

Menurut [22], ekstraksi nanosilika berbahan dasar perlit dengan NaOH sebagai pengekstrak dapat menghasilkan nanosilika dengan jumlah yang meningkat seiring dengan bertambahnya molaritas NaOH. Penelitian tersebut menjadi acuan penelitian ini untuk melakukan ekstraksi nanosilika berbasis batu apung dengan mengamati pengaruh variasi NaOH pada hasil ekstraksi nanosilika berbasis batu apung. Variasi NaOH yang digunakan yaitu 2,0 M, 2,5 M, 3,0 M, 3,5 M dan 4,0 M, serta menggunakan batu apung yang berasal dari kabupaten Tanggamus Lampung.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu apung (*pumice*) dari Kabupaten Tanggamus, NaOH 99% Merck, H₂SO₄ 95-97% Merck, HCl 37% Merck, kertas pH meter, dan air destilasi (*aquades* dan *aquabidest*). Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemutar magnet serta batang magnet, timbangan digital, oven, tungku pemanas, kertas saring *Whatman* no. 41, pipet mikro, gelas ukur, refluks kondenser, corong, spatula kaca, mortal serta pastel biasa, mortal serta pastel Agate. Sedangkan untuk karakterisasi menggunakan alat XRF merk PaNalytical Epsilon 3, XRD merk XPERT PRO PaNalytical, dan TEM merk JEOL/EO JEM-1400 versi 1.0.

Terdapat dua tahapan dalam mengekstrak silika murni, yaitu preparasi serbuk batu apung dan proses ekstraksi nanosilika. Proses preparasi serbuk batu apung dimulai dengan mencuci batu apung menggunakan air *aquabidest* hingga bersih, kemudian mengeringkannya semalaman pada suhu 100°C dengan menggunakan oven.

Selanjutnya, menggerus batu apung yang sudah kering menggunakan *mortar* hingga menghasilkan serbuk batu apung yang masih dalam keadaan kasar. Kemudian mengayak atau menyaring serbuk kasar batu apung tersebut dengan menggunakan alat ayakan berukuran 150 µm hingga mendapatkan serbuk halus dan kemudian mencucinya dengan *aquabidest* hingga air rendamannya tidak keruh. Setelah mencuci serbuk batu apung selanjutnya dikeringkan dengan suhu pemanasan 500°C selama 5,5 jam. Setelah proses pemanasan, terakhir adalah menimbang serbuk halus batu apung sebanyak 250 gram sebagai sampel yang akan diekstraksi.

Proses ekstraksi ini merupakan proses yang dilakukan untuk mendapatkan

nanosilika batu apung. Proses ini diawali dengan menyiapkan 150 mL NaOH dengan variasi 2,0 M, 2,5 M, 3,0 M, 3,5 M dan 4,0 M. Setelah larutan selesai disiapkan, selanjutnya mencampurkan 2,5 gram serbuk batu apung ke dalam masing-masing larutan NaOH yang sudah disiapkan. Masing-masing larutan kemudian direfluks selama 24 jam sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 100°C untuk mengekstraksi nanosilika yang terkandung pada serbuk batu apung. Tahap selanjutnya yaitu menyaring hasil refluks dengan menggunakan *whatman* no. 41. *Filtrat* hasil penyaringan kemudian dititrasi tetes demi tetes dengan menggunakan larutan H₂SO₄ 5,0 M sebanyak 150 mL sambil diaduk kuat hingga mencapai pH 7. Pada pH 7 didapatkan gel jernih yang kemudian didiamkan selama 24 jam. Gel selanjutnya disaring dengan *whatman* no. 41 dan diambil gelnya sambil melakukan pencucian menggunakan *aquabidest* dan gel tersebut dikeringkan dengan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 80-100°C. Setelah kering, nanosilika kering tersebut kemudian digerus dengan *mortar*.

Tahap selanjutnya yaitu mencampuran bubuk silika kering dengan larutan HCl 1,0 M sebanyak 150 mL dan kemudian direfluks selama 4 jam sambil diaduk dengan kuat pada suhu 110°C. Tahap ini bertujuan untuk pemurnian dan menghilangkan pengotor. Hasil *refluks* kemudian disaring dengan *whatman* no. 41 sambil dicuci dengan *aquabidest* dan diambil residunya. Selanjutnya residu tersebut dikeringkan semalaman pada suhu 110°C dan nanosilika keringnya digerus kembali dengan mortar untuk selanjutnya dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5,5 jam dan dihasilkan serbuk nanosilika berwarna putih bersih. Kemudian serbuk tersebut dikarakterisasi menggunakan alat XRF, XRD, dan TEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanosilika Batu Apung Hasil Ekstrak

Nanosilika yang sudah dikalsinasi pada suhu 800°C kemudian ditimbang untuk mengetahui banyak nanosilika yang dihasilkan. Nanosilika yang didapatkan dari 2,5 gram batu apung ditampilkan pada **Tabel 1**. Pada tabel ditunjukkan pengaruh variasi molar NaOH terhadap nanosilika yang terbentuk. Terlihat bahwa nanosilika semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya konsentrasi NaOH yang digunakan untuk mengekstrak nanosilika. Hal ini dikarenakan peningkatan konsentrasi NaOH menyebabkan pengekstrakan nanosilika pada batu apung

akan semakin dalam pada setiap bagian batu apung dan nanosilika yang meluruh akan semakin banyak.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian [22] dan [23] yang menyatakan bahwa larutan NaOH berpengaruh pada peluruhan nanosilika yang akan semakin meningkat seiring peningkatan konsentrasi NaOH yang digunakan.

Tabel 1. Nanosilika batu apung hasil ekstrak

No	NaOH (M)	Nanosilika (gram)
1.	2,0	1,147
2.	2,5	1,316
3.	3,0	1,450
4.	3,5	1,605
5.	4,0	2,124

Hasil Analisis XRF

Komposisi kimia bahan awal dan nanosilika hasil ekstrak di tampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil analisis XRF

No.	Komponen	% berat					
		Batu apung	2,0 M	2,5 M	3,0 M	3,5 M	4,0 M
1.	SiO ₂	77,799	92,017	93,716	96,264	91,422	86,764
2.	Al ₂ O ₃	12,724	0,750	1,058	1,146	1,010	1,206
3.	SO ₃	-	5,265	4,771	2,191	6,544	10,531
4.	K ₂ O	3,701	0,158	0,037	0,023	0,034	0,089
5.	CaO	1,677	0,168	0,049	0,047	0,115	0,131
6.	MgO	1,518	0,502	0,007	-	-	0,728
7.	Fe ₂ O ₃	1,422	0,009	0,009	0,007	0,020	0,017
8.	P ₂ O ₅	0,367	1,031	0,301	0,272	0,784	0,367
9.	TiO ₂	0,281	0,013	0,011	0,010	0,009	0,025
10.	Ag ₂ O	0,210	0,069	0,036	0,030	0,057	0,085
11.	Cl	0,079	0,008	-	0,005	-	0,031
12.	MnO	0,076	-	-	-	-	0,001
13.	BaO	0,062	0,003	0,001	0,001	-	0,015
14.	ZrO ₂	0,021	0,002	0,003	0,002	0,002	0,005
15.	Eu ₂ O ₃	0,017	-	-	-	-	0,001
16.	Rb ₂ O	0,015	0,001	-	-	-	-
17.	SrO	0,014	0,004	-	-	-	-
18.	ZnO	0,006	0,001	0,001	0,001	0,003	0,004
19.	Y ₂ O ₃	0,003	-	-	-	-	-
20.	As ₂ O ₃	0,002	-	-	-	-	-
21.	Ga ₂ O ₃	0,002	-	-	-	-	-
22.	PbO	0,002	-	-	-	-	-

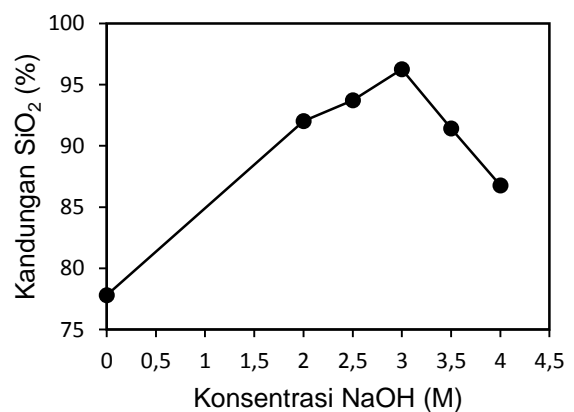
Analisis XRF dilakukan pada serbuk batu apung yang sudah dikalsinasi pada suhu 500°C dengan hasil berupa komposisi kimia yang terkandung di dalam serbuk batu apung. **Tabel 2** menunjukkan komposisi kimia serbuk batu apung yang digunakan pada penelitian ini. Tampak pada tabel tersebut bahwa komponen utama penyusun batu apung dengan persentase lebih besar dari 1% yaitu SiO₂, Al₂O₃, K₂O, CaO, MgO dan Fe₂O₃ sedangkan komponen kimia dengan persentase lebih kecil dari 1% yaitu P₂O₅, TiO₂, Ag₂O, Cl, MnO, BaO, ZrO₂, Eu₂O₃, Rb₂O, SrO, ZnO, Y₂O₃, As₂O₃, Ga₂O₃ dan PbO. Dapat diamati bahwa SiO₂ adalah komponen kimia yang banyak terkandung di dalam batu apung dengan persentase mencapai 77,8%. Hal ini menunjukkan bahwa batu apung adalah salah satu sumber nanosilika yang melimpah dan mudah didapatkan.

Analisis XRF juga dilakukan pada serbuk nanosilika yang telah diekstrak dari batu apung sebanyak lima sampel dengan perbedaan variasi konsentrasi NaOH untuk mengetahui kandungan nanosilika yang terbentuk. Komposisi serbuk nanosilika dari kelima sampel tersebut ditampilkan pada **Tabel 2**. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa komponen kimia yang dominan terkandung dalam setiap sampel adalah SiO₂, Al₂O₃ dan SO₃ dengan persentase di atas 1%. Komponen tersebut memiliki persentase berbeda-beda seiring dengan konsentrasi NaOH yang digunakan.

Gambar 1 menunjukkan persentase nanosilika pada sampel sebelum dan sesudah diekstrak dari batu apung. Batu apung sebelum diekstrak yang pada grafik ditampilkan dengan label 0 M mengandung nanosilika sebesar 77,8%. Nanosilika kemudian diekstrak dari batu apung dengan memvariasi konsentrasi NaOH. Nanosilika yang diekstrak dengan menggunakan

NaOH 2,0 M menghasilkan kandungan nanosilika yang mencapai 92% yang meningkat hingga 14,2% dari kandungan nanosilika batu apung. Nanosilika NaOH 2,5 M menghasilkan kandungan nanosilika sebesar 93,7% yang meningkat hingga 15,9% dari kandungan nanosilika batu apung dengan selisih 1,7% dari nanosilika NaOH 2,0 M. Kandungan nanosilika tertinggi pada penelitian ini terjadi pada variasi NaOH 3,0 M dengan persentase sebesar 96,3% yang meningkat 18,5% dari batu apung sebelum diekstrak dengan selisih 2,5% dari nanosilika NaOH 2,5 M.

Penurunan kemurnian nanosilika kemudian terjadi pada nanosilika NaOH 3,5 M dan 4,0 M dengan persentase berturut-turut 91,4% dan 86,8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi optimum pengekstrakan nanosilika adalah menggunakan NaOH 3,0 M. Menurut penelitian[24], penurunan kemurnian nanosilika hasil ekstrak ini terjadi karena NaOH tidak hanya bereaksi dengan silika saja, tetapi juga bereaksi dengan senyawa lain seperti Al₂O₃ yang dapat ikut terekstrak pada pH 11[25].

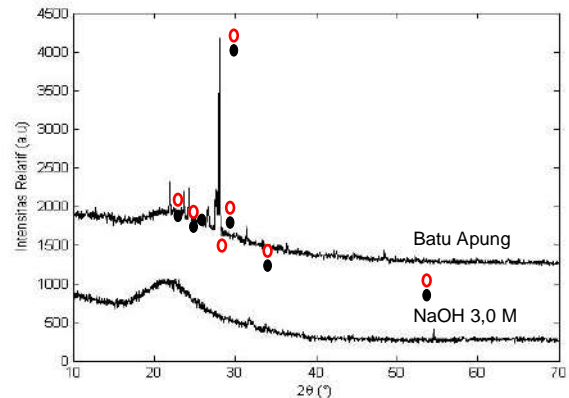


Gambar 1. Grafik pengaruh konsentrasi NaOH terhadap persentase SiO₂

Pada **Tabel 2** terlihat bahwa kemurnian nanosilika yang didapatkan pada penelitian ini sudah baik meskipun belum mencapai 100%. Hal ini dikarenakan masih adanya pengotor pada sampel saat proses ekstraksi dengan persentase yang sangat kecil seperti Al_2O_3 , SO_3 , K_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , Ag_2O , Cl , MnO , BaO , ZrO_2 , Eu_2O_3 , Rb_2O , SrO , ZnO , Cr_2O_3 . Diantara komponen-komponen tersebut, komponen kimia yang paling dominan sebagai pengotor pada hasil ekstrak adalah Al_2O_3 dan SO_3 .

Hasil Analisis XRD

Pada penelitian ini dilakukan analisis XRD pada bahan awal penelitian dan nanosilika hasil ekstraksi NaOH 3,0 M yang ditampilkan pada **Gambar 2**. Serbuk batu apung hasil preparasi yang telah dikalsinasi pada suhu 500°C serta nanosilika hasil ekstrak yang dikalsinasi pada suhu 800°C kemudian dianalisis. Pada gambar dapat dilihat bahwa hasil karakterisasi menggunakan metode XRD pada batu apung memiliki bentuk difraktogram yang dapat digolongkan ke dalam fasa amorf yang ditandai dengan bentuk difraktogram yang melengkung seperti punuk atau bukit pada 2θ antara 20° dan 40° [11], [12]. Hal ini dikarenakan batu apung pada penelitian ini memiliki kandungan nanosilika yang lebih dominan dibandingkan senyawa lain seperti ditampilkan pada **Tabel 2**, sehingga bila dikalsinasi pada suhu 500°C akan dihasilkan nanosilika dengan fasa amorf. Namun demikian, pada batu apung masih terdapat puncak difraksi yang mengindikasikan adanya fasa kristalin. Fasa pertama yang terbentuk adalah fasa anorthite dengan rumus kimia $(\text{CaNa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$ atau natrium kalsium aluminium silikat dengan nomor PDF 18-1202 [26].



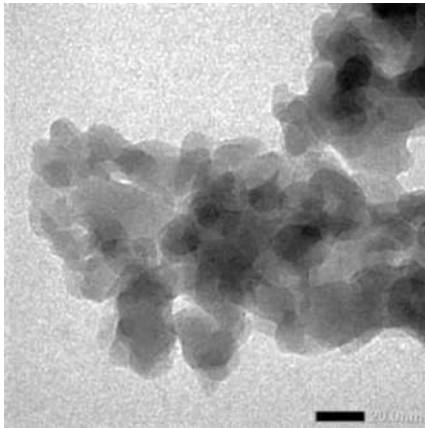
Gambar 2. Difraktogram hasil karakterisasi XRD batu apung, dan nanosilika NaOH 3,0 M. Perangkat lunak yang digunakan untuk menggambarkan difraktogram yaitu Matlab versi 8.6.0.267246 (R2015b).
Legenda: ○ = anorthite $(\text{CaNa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$, ● = albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.

Fasa kedua yang cocok dengan data XRD batu apung adalah fasa albite dengan rumus kimia $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ atau natrium aluminium silikat dengan nomor PDF 19-1184 [27]. Pada **Gambar 2** juga menampilkan difraktogram nanosilika yang telah diekstrak dari batu apung menggunakan larutan NaOH 150 ml 3,0 M yang dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5,5 jam. Pada suhu tersebut terlihat bahwa pada nanosilika NaOH 3,0 M terbentuk difraktogram dengan fasa amorf yang sesuai dengan penelitian [12].

Hasil Analisis TEM

Identifikasi ukuran partikel pada analisis TEM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ 1.52a. Analisis TEM dilakukan pada sampel nanosilika NaOH 3,0 M yang dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5,5 jam. Pada **Gambar 3** menampilkan nanostruktur silika NaOH 3,0 M, dimana terlihat adanya beberapa bagian

nanostruktur yang tampak lebih gelap dari bagian lainnya.



Gambar 4.5. Hasil TEM nanosilika NaOH 3,0 M

Partikel nanosilika dapat dikatakan memiliki ketebalan rendah yang ditandai dengan sedikitnya bagian yang berwarna lebih gelap dibandingkan bagian nanostruktur lainnya. Hasil TEM menampilkan morfologi partikel yang cenderung mengalami aglomerasi dan kohesif sehingga sulit untuk mengamati morfologi partikel secara spesifik karena partikel tampak saling menempel satu dengan yang lain.

Ukuran partikel yang diidentifikasi dengan menggunakan perangkat lunak imageJ menunjukkan bahwa ukuran partikel terkecil dari nanosilika NaOH 3,0 M adalah 8,8 nm dan ukuran partikel terbesar adalah 19,5 nm, sedangkan secara keseluruhan, rata-rata ukuran partikel pada nanosilika NaOH 3,0 M adalah $(14,8 \pm 3,07)$ nm. Hasil penelitian ini sudah memenuhi syarat untuk dikatakan sebagai material nano dengan ukuran partikel yang berada diantara 10-100 nm. Ukuran partikel nanosilika pada penelitian ini mendekati hasil nanosilika pada penelitian [12] yang mencapai ukuran partikel dengan kisaran angka 5-15 nm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa NaOH

berpengaruh terhadap hasil ekstraksi nanosilika yang semakin meningkat seiring bertambahnya konsentrasi NaOH yang digunakan dan komposisi nanosilika tertinggi terjadi pada variasi nanosilika NaOH 3,0 M sebesar 96,3% serta terendah terjadi pada NaOH 4,0 M dengan persentase sebesar 86,8%. Batu apung yang semula memiliki fasa anorthite dan albite, kemudian mengalami perubahan fasa setelah diekstrak dimana nanosilika NaOH 3,0 M membentuk fasa amorf. Metode penelitian yang digunakan berhasil membentuk nanosilika dengan ukuran partikel terkecil sebesar 8,8 nm dan ukuran terbesar yaitu 19,5 nm, sedangkan rata-rata ukuran partikel nanosilika $(14,8 \pm 3,07)$ nm (nanosilika NaOH 3,0 M).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Material Universitas Lampung, Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Universitas Lampung, Laboratorium Kimia Instrumen FMIPA Universitas Negeri Padang, Laboratorium Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, dan Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang telah membantu penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. F., Ashby, P. J., Ferreira, and D. L., *Nanomaterial, Nanotechnologies and Design: An Introduction for Engineers and Architects*. Canada, 2009.
- [2] P. Kanchanawong and C. M. Waterman, "Advances in light-based imaging of three-dimensional cellular ultrastructure," *Current Opinion in Cell Biology*. 2012.

- [3] SCENIHR, "Scientific Basis for the Definition of the Term 'Nanomaterial,'" 2010.
- [4] L. P. Singh, S. K. Agarwal, S. K. Bhattacharyya, U. Sharma, and S. Ahalawat, "Preparation of Silica Nanoparticles and its Beneficial Role in Cementitious Materials," *Nanomater. Nanotechnol.*, 2012.
- [5] D. P. Macwan, C. Balasubramanian, P. N. Dave, and S. Chaturvedi, "Thermal plasma synthesis of nanotitania and its characterization," *J. Saudi Chem. Soc.*, 2014.
- [6] M. Farhana and V. Meera, "Synthesis of Nanosilver Coated Sand Using Plant Extracts," *Procedia Technol.*, 2016.
- [7] P. Shivaprasad, P. K. Singh, V. K. Saharan, and S. George, "Synthesis of nano alumina for defluoridation of drinking water," *Nano-Structures and Nano-Objects*, 2018.
- [8] C. Tzileroglou, M. Stefanidou, S. Kassavetis, and S. Logothetidis, "Nanocarbon materials for nanocomposite cement mortars," in *Materials Today: Proceedings*, 2017.
- [9] A. Axelevitch, B. Gorenstein, and G. Golan, "Application of gold nanoparticles for silicon solar cells efficiency increase," *Appl. Surf. Sci.*, 2014.
- [10] V. Y., Zhai, E.R., Hunting, M., Wouterse, W.J.G.M., Peijnenburg, and M.G., "Importance of Exposure Dynamics of Metal-Based Nano-Zno, -Cu And -Pb Governing The Metabolic Potential of Soil Bacterial Communities," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 145, pp. 349–358, 2017.
- [11] M. Sarikaya, T. Depci, R. Aydogmus, A. Yucel, and N. Kizilkaya, "Production of Nano Amorphous SiO₂ from Malatya Pyrophyllite," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016.
- [12] A. Mourhly, M. Khachani, A. El Hamidi, M. Kacimi, M. Halim, and S. Arsalane, "The Synthesis and Characterization of Low-Cost Mesoporous Silica SiO₂ from Local Pumice Rock," *Nanomater. Nanotechnol.*, 2015.
- [13] N. J. Saleh, R. I. Ibrahim, and A. D. Salman, "Characterization of nanosilica prepared from local silica sand and its application in cement mortar using optimization technique," *Adv. Powder Technol.*, 2015.
- [14] Y. Shen, "Rice husk silica derived nanomaterials for sustainable applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017.
- [15] G. A. P. K. Wardhani, "KARAKTERISASI SILIKA PADA TONGKOL JAGUNG DENGAN SPEKTROSKOPI INFRA MERAH DAN DIFRAKSI SINAR-X," *J. Kim. Ris.*, 2017.
- [16] K. M. A. Hossain, "Blended cement using volcanic ash and pumice," *Cem. Concr. Res.*, 2003.
- [17] I. PRATOMO, "Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah," *Indones. J. Geosci.*, 2014.
- [18] T. Simkin and R. S. Fiske, "Krakatau 1883 - a centennial retrospective on the eruption and its atmospheric effects," *Weatherwise*, 1983.

- [19] P. S. Putra and E. Yulianto, "KARAKTERISTIK ENDAPAN TSUNAMI KRAKATAU 1883 DI DAERAH TARAHAH, LAMPUNG," *Ris. Geol. dan Pertamb.*, 2017.
- [20] P. S. Putra and E. Yulianto, "Stratigrafi Endapan Tsunami Krakatau 1883 di Daerah Limus, Pantai Barat Teluk Semangko, Lampung," *J. Lingkungan. dan Bencana Geol. (JLBG)*, 2016.
- [21] U. Kalpathy, A. Proctor, and J. Shultz, "A simple method for production of pure silica from rice hull ash," *Bioresour. Technol.*, 2000.
- [22] K. Srivastava, N. Shringi, V. Devra, and A. Rani, "Pure Silica Extraction from Perlite: Its Characterization and Affecting factors," vol. 2, no. 7, pp. 2936–2942, 2013.
- [23] A. retnosari "Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO₂) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara," Universitas Jember, 2013.
- [24] A. Aman, and P.S. Utama. "Pengaruh Suhu dan Waktu pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara," 2013.
- [25] A. Paul and M. S. Zaman, "The relative influences of Al₂O₃ and Fe₂O₃ on the chemical durability of silicate glasses at different pH values," *J. Mater. Sci.*, 1978.
- [26] D.B. Stewart, G.W. Walker, and T.L. Wright, "Physical Properti of Calcic Labradorite from lake Country," *Am. Minerol.*, vol. 31, no. 141, 1966.
- [27] P. De Wolff, "ICDD Grant-in-Aid," 1966.

