

Pengaruh Variasi Konsentrasi HCl pada Pembentukan Nanosilika Berbasis Batu Apung

Lusi Vusfita Sari^{(1,a)*}, Posman Manurung^(1,b), dan Yanti Yulianti^(1,c)

⁽¹⁾Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro 1, Bandar Lampung 35144

^(a)lusi.vusfita@gmail.com*, ^(b)reip65@yahoo.com, ^(c)yanti.yulianti@unila.ac.id

Diterima (22 April 2019), Direvisi (22 Mei 2019)

Abstract. The aims of this research is to determine the effect of variation concentration of HCl on chemical composition, phase formed, and particle size on pumice powder. Nanosilica is made using the solgel method with NaOH concentration 4 M, H₂SO₄ 5 M and variation concentration of HCl 0,5; 0,75; 1; 1,25 dan 1,5 M. The XRF results showed the greatest chemical composition value in the silica pumice powder sample with a value of 77.80%. This value is higher after synthesis at the highest chemical composition value in the nanosilica sample 1,25 M HCl concentration of 87.05%. The XRD results show a diffractogram of pumice powder samples formed by anorthite and albite phases while in the nanosilica sample 1,25 M HCl concentrates are debated with the amorphous phase. The TEM results show particle size of nanosilic sample 1,25 M HCl concentration is 5 nm with average particle size (12.02 ± 3.23) nm.

Keywords: Nanosilica, pumice, leaching, HCl, solgel

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi HCl terhadap komposisi kimia, fasa yang terbentuk, dan ukuran partikel pada serbuk batu apung. Nanosilika dibuat menggunakan metode solgel dengan konsentrasi NaOH 4 M, H₂SO₄ 5 M dan variasi konsentrasi HCl 0,5; 0,75; 1; 1,25 dan 1,5 M. Hasil XRF menunjukkan nilai persentase komposisi kimia terbesar pada sampel serbuk batu apung yaitu silika dengan nilai 77,80 %. Nilai tersebut mengalami peningkatan setelah melalui tahap sintesis dimana pada nilai komposisi kimia tertinggi pada sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M sebesar 87,05 %. Hasil XRD menunjukkan difraktogram sampel serbuk batu apung terbentuk fasa anorthite dan fasa albite sedangkan pada sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M fasa yang mendominasi yaitu fasa amorf namun terdapat fasa kristalin yaitu fasa sodium sulfat. Hasil TEM menunjukkan ukuran terkecil partikel sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M yaitu 5 nm dengan rata-rata ukuran partikel (12,02±3,23) nm.

Kata kunci: Nanosilika, batu apung, pemurnian, HCl dan solgel

PENDAHULUAN

Provinsi Lampung memiliki gunung berapi yang hingga sekarang masih aktif, yaitu Gunung Anak Krakatau. Gunung Anak Krakatau terbentuk dari letusan besar Gunung Krakatau pada tahun 1883. Akibat letusan yang terjadi pada tahun 1883 vegetasi asli di kawasan Krakatau musnah, selain itu memunculkan bahan piroklastika seperti pumice (batu apung) [1].

Batu apung sudah tidak asing lagi ditelinga kita, karena dengan mudah dapat kita temukan di daerah pesisir pantai. Namun pemanfaatan batu apung hanya dilakukan secara tradisional sebagai alat untuk membersihkan alat masak. Pemanfaatan seperti ini kurang efektif karena tidak menghasilkan material baru yang bernilai tinggi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mourhly dkk [2], batu apung memiliki kandungan silika murni mencapai 94 % yang diperoleh

dengan metode basa. Oleh karena itu batu apung merupakan bahan baku yang cukup potensial sebagai sumber silika.

Teknologi yang berkaitan dengan aplikasi silika telah banyak dikembangkan termasuk dalam produksi nanomaterial [3]. Dengan skala nano, material dapat disusun dalam orde atom per atom atau molekul per molekul sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik, struktur dan daya tahan material [4]. Pada tahun 2002 dipasar global permintaan silika mencapai \$1,7 juta, nilai tersebut diperkirakan akan naik sekitar 4 % per tahun [5]. Banyaknya permintaan akan silika tidak terlepas dari berbagai kelebihan yang dimiliki silika seperti stabilitas yang baik pada suhu tinggi, material yang tidak dapat menghantarkan listrik (isolator)[6], memiliki sifat tidak mudah terbakar dan ketahanan terhadap asam [7]. Hal tersebut yang menyebabkan silika memiliki peran yang tak kalah penting dalam berbagai ruang lingkup seperti bioteknologi [8], komposit [9], katalis, semikonduktor, isolator termal, kaca, keramik dan beton [10].

Silika yang terdapat di alam, memiliki keadaan yang tidak murni sehingga untuk mendapatkan silika dalam suatu material dilakukan cara pemisahan dan dilanjutkan dengan pemurnian dari unsur-unsur lainnya yang terkandung dalam sampel. Pada dasarnya pemurnian silika dapat dilakukan dengan menggunakan pelarut asam. Pelarut asam yang biasa digunakan untuk pelarutan unsur-unsur logam pada sampel adalah H₂SO₄, HNO₃ dan HCl yang telah dipelajari pada beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Adjiantoro [11] pelarutan asam yang menunjukkan keefektifan paling tinggi untuk menurunkan kandungan pengotor logam adalah HCl (70,22%).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi konsentrasi HCl pada pembentukan nanosilika berbasis batu apung. Aspek yang dipelajari dalam penelitian ini adalah

pengaruh variasi konsentrasi HCl terhadap komposisi kimia, fasa yang terbentuk, dan ukuran partikel pada serbuk batu apung yang telah melewati tahap sintesis. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bahan dasar batu apung dari Kabupaten Tanggamus, NaOH 99 % Merck, H₂SO₄ 96 % Merck, HCL 37 % Merck dan air destilasi. Adapun alat-alat yang digunakan meliputi timbangan digital, saringan *siever* 180 μ m, oven, kertas pH meter, *magnetic stirrer*, pipet tetes, alumunium foil, *mortal pastel*, *beaker glass* dan peralatan gelas lainnya. Metode penelitian yang dilakukan melalui beberapa tahap seperti preparasi, ekstraksi, titrasi dan pemurnian.

Tahap preparasi dilakukan dengan pencucian berulang dengan air destilasi agar menghilangkan pasir yang terdapat dalam rongga-rongga batu apung, Setelah itu di gerus menggunakan *mortal* dan *pastel* lalu disaring menggunakan kertas *whatman* no 41 agar sampel dapat mudah disintesis. Sebelum bahan ditimbang, Sampel serbuk batu apung yang telah bersih kemudian di kalsinasi pada temperatur 500 °C agar menghilangkan kandungan air bebas dan mengaktifkan kandungan silika yang terdapat pada serbuk batu apung agar banyak silika yang dapat terekstrak [12]. Bahan-bahan tersebut ditimbang dengan variasi konsentrasi HCl seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variasi konsentrasi HCl pada sampel

Sampel	Batu Apung (gr)	H ₂ SO ₄ (M)	NaOH (M)	HCl (M)
HCL050	2,5	5	3,5	0,50
HCL075	2,5	5	3,5	0,75
HCL100	2,5	5	3,5	1,00

HCL125	2,5	5	3,5	1,25
HCL150	2,5	5	3,5	1,50

Hasil preparasi yang telah ditimbang sebanyak 2,5 gram kemudian diekstraksi dengan NaOH 4 M menggunakan refluks pada temperatur 100 °C selama 24 jam. Hasil ekstraksi yang digunakan berupa filtrat yang selanjutnya dititrasasi dengan H₂SO₄ 5 M sedikit demi sedikit hingga pH 7 dan terbentuk gel silika. Gel silika didiamkan semalaman (*aging*) dimana pada proses *aging* gel silika mengalami penyusutan volume yang disertai pelepasan garam-garam natrium. Untuk menghilangkan garam-garam natrium ini dilakukan pencucian menggunakan air destilasi. Gel silika yang telah dicuci lalu dikeringkan pada temperatur 100 °C selama 24 jam dan digerus. Serbuk silika batu apung yang terbentuk di murnikan menggunakan pelarut HCl dengan variasi konsentrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Serbuk silika batu apung yang telah dimurnikan lalu di kalsinasi pada temperatur 800 °C. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD dan TEM.

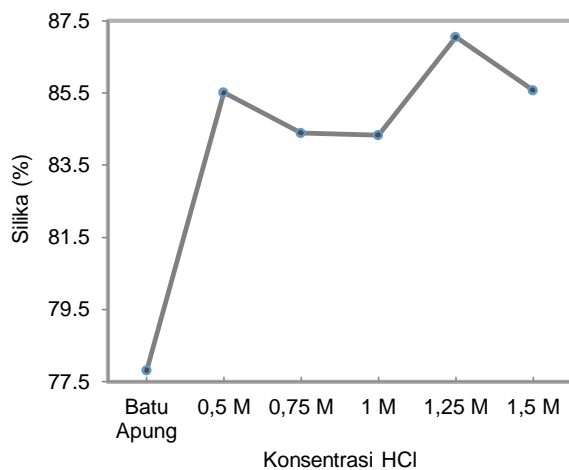
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Perbandingan komposisi kimia yang terdapat dalam sampel serbuk batu apung dan sampel nanosilika dengan variasi konsenrasi HCl

Senyawa	Batu Apung (%)	HCl 0,5 M (%)	HCl 0,75 M (%)	HCl 1 M (%)	HCl 1,25 M (%)	HCl 1,5 M (%)
MgO	1,52	0,89	1,15	0,52	1,95	2,29
Al ₂ O ₃	12,72	0,64	1,04	1,39	1,08	1,04
SiO ₂	77,80	85,51	84,40	84,34	87,05	85,57
P ₂ O ₅	0,37	0,76	0,87	0,16	0,82	0,90
SO ₃	-	11,89	12,11	13,28	8,84	9,84
K ₂ O	3,70	0,04	0,13	0,13	0,08	0,12
CaO	1,68	0,13	0,14	0,06	0,14	0,14
TiO ₂	0,28	0,01	0,01	0,01	0,015	0,01
Fe ₂ O ₃	1,42	0,02	0,03	0,02	0,019	0,02
Ag ₂ O	0,21	0,10	0,11	0,08	-	-

Hasil Analisis XRF

Komposisi kimia yang terdapat dalam sampel serbuk batu apung dan sampel nanosilika dengan variasi konsentrasi HCl ditujukan pada **Tabel 2**. Sampel diberi kode berdasarkan variasi konsentrasi HCl. Sebagai contoh, sampel dengan kode HCl050 menunjukkan sampel nanosilika yang dimurnikan dengan konsentrasi HCl 0,50 M. **Tabel 2** menunjukkan bahwa persentase komposisi kimia pada sampel batu apung yang memiliki nilai diatas 1 % yaitu MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O, CaO dan Fe₂O₃. Dari komposisi kimia tersebut yang memiliki nilai persentase terbesar yaitu silika (SiO₂) sebesar 77,80 %. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Miskah [13] bahwa komposisi kimia yang paling banyak terkandung dalam batu apung adalah senyawa silika (SiO₂). Selain itu pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa kandungan silika yang terdapat dalam sampel batu apung mengalami peningkatan setelah melalui tahap sintesis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.

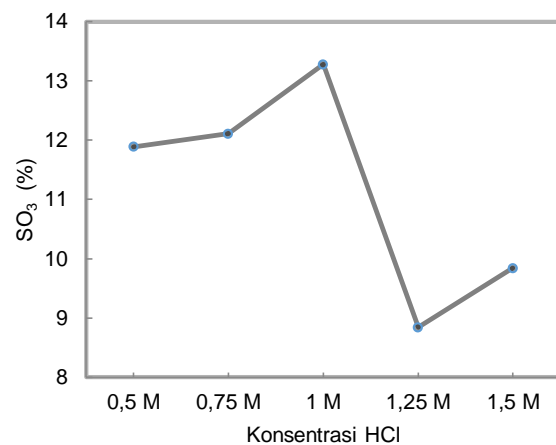


Gambar 1. Grafik perbandingan silika pada sampel variasi konsentrasi HCl

Berdasarkan **Gambar 1** sampel yang telah melalui tahap pemurnian dengan variasi konsentrasi HCl mengalami peningkatan persentase nilai silika yang cukup tinggi meskipun persentasenya tidak konsisten. Pada kelima sampel dengan variasi konsentrasi HCl, sampel dengan konsentrasi HCl 1,25 M yang menghasilkan persentase nilai silika tertinggi yaitu 87,05 %. Peningkatan nilai persentase silika dari sampel batu apung ke sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M mencapai 9,25 %. Peningkatan nilai persentase silika tersebut diikuti dengan penurunan jumlah senyawa pengotor. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Nuryono [14] bahwa pemurnian dengan HCl pada silika dapat meningkatkan kemurnian silika dengan menurunkan beberapa logam seperti Al, K dan Ca.

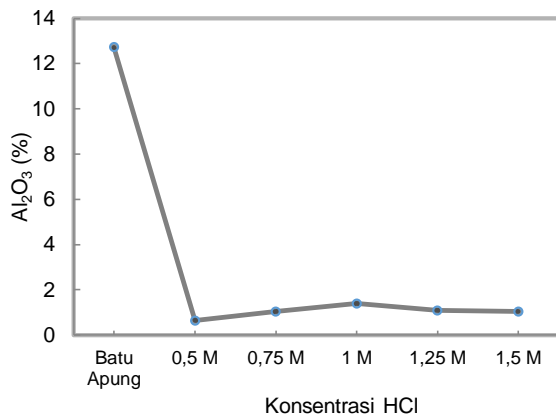
Namun pada sampel dengan konsentrasi HCl 1,5 M mengalami penurunan nilai persentase senyawa silika (SiO_2) menjadi 85,57 % hal tersebut dikarenakan senyawa logam lainnya ikut bereaksi dan terekstrak. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Zukira [15] yaitu perendaman batu apung dengan HCl akan meningkatkan senyawa logam dengan ikut bereaksi dan terekstrak sehingga senyawa pengotor akan meningkat. Pada **Tabel 2** sampel nanosilika batu apung dengan

variasi konsentrasi HCl teridentifikasi senyawa baru yaitu SO_3 . Senyawa SO_3 bukanlah pengotor yang berasal dari serbuk batu apung namun senyawa SO_3 terbentuk setelah serbuk batu apung melalui tahap sintesis. Nilai persentase senyawa SO_3 lebih besar dibandingkan senyawa pengotor lainnya. Nilai persentase senyawa SO_3 pada setiap variasi konsentrasi HCl mengalami kenaikan dan penurunan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik perbandingan SO_3 pada sampel variasi konsentrasi HCl

Berdasarkan **Gambar 2** nilai persentase senyawa SO_3 terbesar terdapat pada sampel nanosilika konsentrasi HCl 1 M. Adanya senyawa SO_3 pada sampel dikarenakan pada proses pencucian silika gel kurang maksimal. Selain senyawa SO_3 terdapat senyawa pengotor lain yang memiliki nilai persentase tinggi yaitu Al_2O_3 . Senyawa Al_2O_3 merupakan senyawa yang telah ada pada sampel batu apung. Dalam sampel batu apung, senyawa Al_2O_3 memiliki persentase terbesar setelah SiO_2 dengan nilai 12,72 %. Setelah melalui tahap sintesis nilai persentase senyawa Al_2O_3 mengalami penurunan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

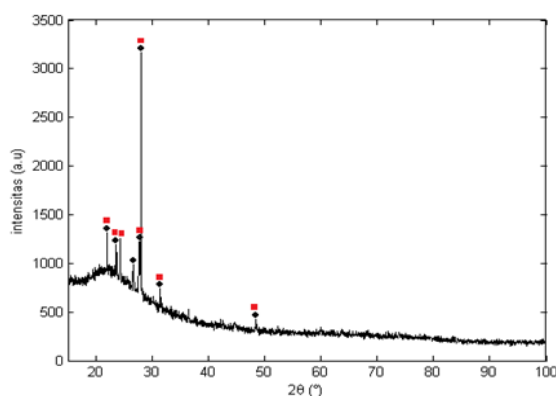


Gambar 3. Grafik perbandingan Al₂O₃ pada sampel variasi konsentrasi HCl

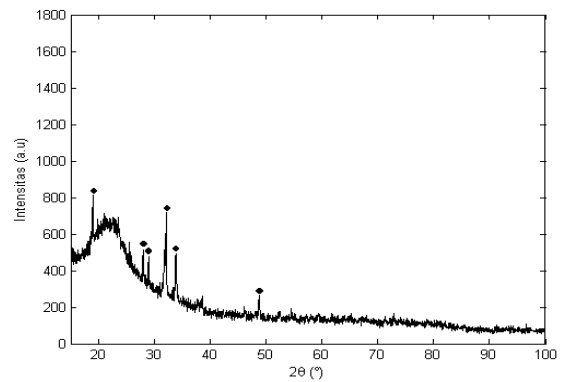
Berdasarkan **Gambar 3** persentase nilai Al₂O₃ mengalami penurunan setelah melalui tahap sintesis. Pada kelima sampel dengan variasi konsentrasi HCl, sampel dengan konsentrasi HCl 0,5 M yang mengalami penurunan persentase nilai Al₂O₃ terbesar yaitu 0,64 %.

Hasil Analisis XRD

Hasil XRD sampel serbuk batu apung dan sampel nanosilika konsentrasi HCL 1,25 M ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** yang telah dibuat menggunakan Matlab R2014a.



Gambar 4. Difraktogram hasil karakterisasi XRD sampel serbuk batu apung. Legenda ■ = Albite (NaAlSi₃O₈), ● = Anorthite (CaNa)(SiAl)₄O₈



Gambar 5. Difraktogram hasil karakterisasi XRD sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M. Legenda : ● = Na₂SO₄

Tabel 3. Perbandingan data sampel serbuk batu apung setelah preparasi dengan standar PCPDFWIN

Data hasil penelitian	Data standar PCPDFWIN				
	Anorthite (CaNa)(SiAl) ₄ O ₈			Albite NaAlSi ₃ O ₈	
2θ(°)	d(Å)	d(Å)	Δd	d(Å)	Δd
21,95	4,045	4,042	0,003	4,03	0,015
23,61	3,764	3,759	0,005	3,77	0,006
24,29	3,660	-	-	3,66	0
26,58	3,350	3,365	0,015	-	-
27,57	3,231	3,241	0,01	3,22	0,011
27,98	3,185	3,181	0,004	3,19	0,005
31,42	2,844	2,834	0,01	2,84	0,004
48,36	1,880	1,882	0,002	1,88	0

Tabel 4. Perbandingan data sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M dengan standar PCPDFWIN

Data hasil penelitian		Data standar PCPDFWIN		Δd (Å)
2θ(°)	d (Å)	2θ(°)	d (Å)	
18,98	4,669	19,03	4,658	0,011
27,98	3,185	28,02	3,180	0,005
28,97	3,079	28,99	3,077	0,002
32,09	2,786	32,12	2,784	0,002
33,56	2,648	33,82	2,647	0,001
48,73	1,866	48,78	1,865	0,010

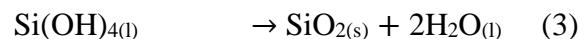
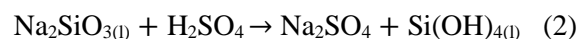
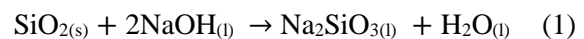
Pada **Gambar 4** terdapat beberapa puncak yang intensitasnya tinggi dimana puncak tersebut menunjukkan adanya fasa kristalin di 2θ tertentu. Pada puncak dengan Walaupun terdapat beberapa puncak yang relatif tinggi, tampak pada sampel batu apung di dominasi fasa amorf. Hal ini ditandai dengan bentuk difragtogram yang

melengkung seperti punuk atau bukit pada sudut 2θ antara 20° dan 40° [2][16]. Untuk mengetahui fasa terbentuk maka dilakukan analisis kualitatif terhadap data XRD sampel batu apung dengan metode pencocokan data yang diperoleh melalui pangkalan data (*database PDF atau power diffraction file database*). Maka puncak-puncak dengan intensitas tinggi tersebut dicocokkan dengan data standar PCPDFWIN dan diperoleh data seperti pada **Tabel 3**.

Berdasarkan **Tabel 3** teridentifikasi dua fasa selain fasa amorf. Dua fasa tersebut yaitu fasa anorthite dan fasa albite. Fasa anorthite dengan rumus kimia $(\text{CaNa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$ ditunjukkan dengan tujuh puncak yang cocok pada nomor PDF 18-1202 (Stewart dkk, 1966) dan fasa albite dengan rumus kimia $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ yang ditunjukkan dengan tujuh puncak yang cocok pada nomor PDF 19-1184 (Theachnisch Physische Dienst delfi, 1967). Selain sampel serbuk batu apung terdapat juga difraktogram pada sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M yang telah dibuat menggunakan Matlab R2014a seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan difraktogram sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M yang telah di kalsinasi pada temperatur 800°C . Secara visual hasil XRD sudah terbentuk fasa amorf yang sesuai dengan penelitian Mourly [2] dimana silika batu apung akan berbentuk fasa amorf bila dikalsinasi pada temperatur kurang dari 800°C . Selain itu bentuk difraktogram yang melengkung seperti punuk atau bukit pada sudut 2θ antara 20° dan 40° menunjukkan fasa amorf [2][16]. Namun pada difraktogram sampel serbuk nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M masih menunjukkan adanya fasa lain dengan adanya enam puncak intensitas yang tinggi pada 2θ tertentu. Maka puncak-puncak dengan intensitas tinggi tersebut dicocokkan dengan data standar PCPDFWIN dan

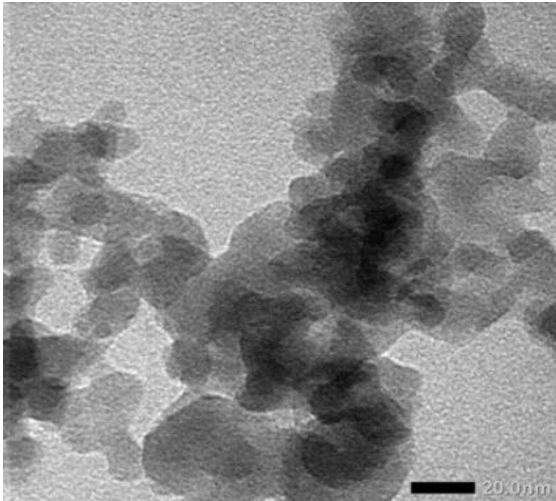
diperoleh data seperti pada **Tabel 4**. Berdasarkan **Tabel 4** teridentifikasi fasa lain selain fasa amorf yaitu fasa sodium sulfat dengan rumus kimia Na_2SO_4 yang ditunjukkan dengan tujuh puncak yang cocok pada nomor PDF 37-1465 (McMurdie dkk, 1986). Terbentuknya fasa kristalin pada sampel serbuk nanosilika batu apung dengan konsentrasi HCl 1,25 M dapat dijelaskan melalui reaksi kimia berikut:



Berdasarkan reaksi kimia diatas Persamaan (1) merupakan tahap ekstraksi, dan Persamaan (2) merupakan tahap titrasi. Sodium sulfat (Na_2SO_4) terbentuk pada tahap titrasi dimana sodium sulfat (Na_2SO_4) merupakan garam yang terbentuk dari reaksi dengan asam sulfat. Untuk menghilangkan garam-garam ini dilakukan dengan pencucian menggunakan air destilasi. Tidak optimalnya tahap pencucian ini menyebabkan garam-garam natrium masih melekat pada gel silika dan akan ikut memadat pada proses pemanasan. Sehingga pada difraktogram hasil karakterisasi XRD sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M teridentifikasi fasa kristalin sodium sulfat (Na_2SO_4).

Hasil Analisis TEM

Ukuran partikel sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M yang dianalisis dengan perangkat lunak ImageJ 1.52a ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hasil karakterisasi TEM sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M

Berdasarkan **Gambar 6** terlihat bahwa batas butir partikel tidak terlalu jelas selain itu juga pada permukaan sampel tampak terjadi penggumpalan (aglomerasi), hal ini yang menyebabkan ukuran butiran partikel tidak tersebar merata dan menunjukkan bahwa sampel dalam keadaan amorf. Ukuran partikel yang diidentifikasi dengan perangkat lunak imageJ menunjukkan bahwa ukuran terkecil dari sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M yaitu 5 nm dan ukuran partikel terbesar yaitu 17,8 nm. Secara keseluruhan rata-rata ukuran partikel pada sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M yaitu $(12,02 \pm 3,23)$ nm. Ukuran partikel pada penelitian ini mendekati ukuran partikel pada penelitian Mourhly dkk [2] dimana ukuran partikel silika yang telah dimurnikan adalah skala nanometer dengan diameter 5-15 nm. Selain itu penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bakar [17] pencucian asam menghasilkan efek yang signifikan pada ukuran partikel silika. Diameter partikel rata-rata silika yang tercuci asam adalah $\sim 5,6$ nm. Pencucian baik asam klorida atau asam sulfat mengurangi diameter partikel dan diameter silika terkecil dicuci dengan asam klorida yaitu 5,56 nm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil XRF, nilai persentase silika semakin meningkat seiring semakin besarnya konsentrasi HCl yang digunakan, dimana nilai persentase silika tertinggi terjadi pada sampel nanosilika konsentrasi HCl 1,25 M dengan nilai 87,05 %. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya fasa amorf pada sampel nanosilika dengan konsentrasi HCl 1,25 M setelah dikalsinasi pada temperatur 800 °C namun terdapat fasa sodium sulfat yang ikut muncul akibat proses pencucian yang belum maksimum. Hasil TEM pada sampel yang telah dicuci dengan pelarut HCl dengan konsentrasi 1,25 M menunjukkan ukuran partikel terkecil yaitu 5 nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. H. E. Stehn, "Krakatau," *Netherlands East Indie Volcanol. Surv.*, pp. 44–48, 1932.
- [2] M. Halim and S. Arsalane, "The Synthesis and Characterization of Low-cost Mesoporous Silica SiO₂ from Local Pumice Rock Regular Paper," 2015.
- [3] 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.
- [4] B. R. Fernandez, "Sintesis nanopartikel SiO₂ menggunakan metode sol-gel dan aplikasinya terhadap aktifitas sitotoksik sel," *J. Nanoteknologi*, vol. 3, no. 2, pp. 384–389, 2012.
- [5] S. dan A. Mukunda, H, "A novel process and apparatus for the manufacturer of precipitated silica from rice hull," *Int. Application Publ. under Pat. Coop. Treaty WO*, 2004.

- [6] A. Coniwanti P. dan S. Rasmiah, "Pengaruh proses pengeringan, normalitas HCl, dan temperatur pembakaran pada pembuatan silika Dari sekam padi," *J. Tek. Kim.*, vol. 1, no. 15, pp. 5–11, 2008.
- [7] Azhari dan Muchtar Aziz, "Sintesis dan karakterisasi material berpori berbasis mineral silika pulau belitung," *J. Teknol. Miner. Dan Batubara*, vol. 12, no. 3, pp. 161 – 170, 2016.
- [8] P. Galliker, P., Hommes, G. Schlasser, D., Corvini, P. F. X. dan Shahgaldin, "Laccase modified silica nanoparticles efficiently catalyze the transformation of phenolic compounds," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 349, pp. 99–105, 2010.
- [9] H. H. Liu, V. H., Thuc, C. N., Thuc, "Synthesis of silica nanoparticles from vietnamese rice husk by solgel method," *J. Powder Technol.*, pp. 1–10, 2013.
- [10] C. Latif, "Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Pada Struktur Silika," vol. 3, no. 1, pp. 4–7, 2014.
- [11] B. Adjiantoro and E. Mabruri, "Proses pemurnian silikon tingkat metalurgi dengan menggunakan metoda pelarutan kimia.," *Maj. Metal.*, vol. 25, no. 2, pp. 71–78, 2010.
- [12] Samin dan Susanna, "Kajian Adsorpsi Cr³⁺ pada Breksi Batu Apung Wukirsari," *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Penelit. Dasar Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, pp. 56–63, 2002.
- [13] S. Miskah, "Pemanfaatan batu apung (pumice) sebagai bahan pemucat crude palm oil," *J. Tek. Kim.*, vol. 17, no. 2, p. 3, 2010.
- [14] Nuryono, "Pengaruh konsentrasi NaOH pada peleburan abu sekam padi cara basah," *Pros. Semin. Nas. Has. Penelit. FMIPA. UNDIP*, 2004.
- [15] A. Zukira, Papatungan, M. dan Musa, W, J, "Analisis Logam - Logam pada Batu Apung dan Modifikasinya Serta Uji Adsorpsinya pada Larutan Asam Asetat," *J. Sainstek*, vol. 6, pp. 462–557, 2012.
- [16] A. Sarikaya, M., Depci, T., Aydogmus, R., dan Yucel, "Production of nano amorphous SiO₂ from malatya pyrophyllite," *J. Earth Environ. Sci.*, vol. 44, pp. 295–305, 2016.
- [17] S. N. G. Bakar dan R. A., Rosiyah Y., "Production of high purity amorphous silica from rice husk," *J. Procedia Chem.*, vol. 19, pp. 189 – 195, 2016.

