

Pengolahan Air Sadah Menggunakan Zeolit Buatan Dari Batu Apung Lampung Dan Daun Kerai Payung

Nindia Agustin⁽¹⁾, Pulung Karo Karo⁽¹⁾, Sudibyo⁽²⁾, dan Suprihatin⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

⁽²⁾Pusat Riset Teknologi Pertambangan (P RTPB) BRIN, Lampung Selatan, Indonesia, 35361

Email : ⁽¹⁾nindiaagustin8@gmail.com, ^(b)pulung.karokaro@gmail.com, ^(c)sudibyo@lipi.go.id,

^(d)suprihatin.1973@fmipa.unila.ac.id

Diterima (05 Desember 2022), Direvisi (6 Juli 2023)

Abstract. This research was conducted to determine the composition and crystal structure of the artificial zeolite produced, as well as the ability of artificial zeolite to reduce calcium and magnesium content in hard water. The zeolite was prepared using the hydrothermal method by mixing sodium silicate from Lampung pumice silica, sodium aluminate from aluminum can waste and charcoal from sunshade umbrellas. The artificial zeolite products were characterized using XRF, XRD, UV-Vis spectrophotometric and ICP-EOS. The results showed that the composition of the artificial zeolite was aluminum, silica, phosphorus, potassium, calcium, titanium, vanadium, chromium, manganese and iron. The crystal structure of the optimum sample from the UV-Vis spectrophotometric characterization obtained the crystal structure of a natural zeolite type, namely Chabazite. And the artificial zeolite which was tested for adsorption on hard water could reduce the calcium content by 36.57% but could not reduce the magnesium content.

Keywords : Zeolite, Pumice, Limbah Kaleng Aluminium, Hard Water

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi dan struktur kristal dari zeolit buatan yang dihasilkan, serta kemampuan zeolit buatan dalam menurunkan kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah. Pembuatan zeolit dilakukan menggunakan metode hidrotermal dengan mencampurkan natrium silikat dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat dari limbah kaleng aluminium dan arang daun kerai payung. Produk zeolit buatan dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, spektrofotometri UV-Vis dan ICP-EOS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi zeolit buatan adalah aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, manganum dan ferum. Struktur kristal pada sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis memperoleh struktur kristal jenis zeolit alam yaitu *Chabazite*. Dan zeolit buatan yang diuji adsorpsi pada air sadah dapat menurunkan kandungan kalsium sebanyak 36,57% namun tidak dapat menurunkan kandungan magnesium.

Kata kunci: Zeolit, Batu Apung, Aluminum Can Waste, Air Sadah

PENDAHULUAN

Sekitar 30% gunung berapi aktif berada di Indonesia [1]. Salah satu negara bagian Indonesia yang pernah meletus gunung berapi aktif pada tahun 1883 adalah Lampung [2]. Letusan gunung berapi mengakibatkan endapan vulkanik yang tersebar di seluruh wilayah yang terkena

letusan. Salah satu dari wilayah Lampung yang terkena erupsi adalah Kabupaten Lampung Selatan [3] dan tersebar juga ke sejumlah wilayah termasuk Kabupaten Tanggamus [4]. Lava yang muncul saat gunung meletus kemudian mendingin membentuk beberapa batuan dalam prosesnya. Salah satu batuan yang terbentuk adalah batu apung.

Batu apung terbentuk ketika lahar panas meluap dari bagian dalam bumi, bertemu dengan udara terbuka dan kemudian membeku dengan cepat [5]. Batu apung adalah batuan vulkanik berpori amorf yang terutama terdiri dari SiO_2 [6]. Terdapat beberapa kandungan dalam batu apung yakni seperti l_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO , LOI (Loss On Ignition) dan SiO_2 dengan persentase SiO_2 paling tinggi yakni 59,00% [7]. Dan berdasarkan hasil analisis kimia, persentase batu apung didominasi oleh komponen SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing sebesar 48% dan 14,9% [8]. Silika terjadi secara alami di pasir, kerikil dan batu. Senyawa ini ada dalam bentuk amorf (tidak beraturan) atau polimerfisme kristal (berbagai bentuk kristal) [9]. Tergantung pada struktur atau morfologinya, silika memiliki sifat hidrofilik atau hidrofobik (menyerap air) dan silika juga bersifat inert dan transparan [10]. Selain itu, silika batu apung bersifat non-konduktor dan memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap oksidasi dan degradasi termal [11]. Namun, pemakaian batu apung masih sangat terbatas di kalangan masyarakat, sedangkan potensi ketersediaannya yang besar menunjukkan bahwa batu apung belum dimanfaatkan secara optimal [12].

Selain itu, Perkembangan industri yang semakin meningkat ternyata memiliki efek samping terhadap pencemaran lingkungan yang diakibatkan produk buangan berupa limbah seperti limbah kaleng aluminium. Kaleng-kaleng tersebut menjadi salah satu bahan-bahan pencemar yang mengganggu lingkungan [13]. Kaleng minuman mengandung sekitar 92-99% aluminium [14]. Merujuk dari hal tersebut, penelitian ini menggunakan limbah kaleng aluminium untuk pembuatan natrium aluminat. Dengan proses peleburan kaleng aluminium dicampurkan $NaOH$ dan akuades. Penggunaan katalis basa kuat, baik itu $NaOH$ dan KOH memberikan hasil hidrogen yang lebih tinggi, tetapi pada

penggunaan katalis $NaOH$ pada waktu reaksi antara aluminium dan air lebih cepat dari pada katalis KOH [15].

Indonesia masih memiliki banyak potensi hutan yang belum tergali yang perlu dikembangkan. Kerai payung berasal dari Asia tropis dan Afrika dan sekarang umum di berbagai bagian Indonesia. Bagian kerai payung yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagian daun yang akan diubah menjadi arang. Arang merupakan suatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan suatu hasil pembakaran yang mengandung unsur C (karbon). Sebagian besar pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon dan senyawa anorganik lainnya [16]. Pembuatan arang dapat dilakukan dengan menggunakan metode karbonisasi yang memerlukan temperatur suhu sehingga mampu merubah tumbuhan tumbuhan seperti daun, batang kayu dll, menjadi bentuk arang yang berwarna hitam pekat dan mengandung karbon [17]. Bahan baku yang dapat diolah menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuhan, hewan maupun hasil tambang [18]. Karbon aktif adalah karbon dengan ruang pori yang sangat besar dengan ukuran tertentu yang dapat menjebak partikel yang diserap [19].

Akhir-akhir ini banyak peneliti yang menggunakan bahan berbasis alam yang murah untuk digunakan sebagai bahan awal untuk pembuatan zeolit. Seperti sekam padi [20], kaolin [21], *fly ash* [22], dan abu vulkanik [23]. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral (AlO_4) dan (SiO_4) [24]. Zeolit buatan adalah senyawa yang memiliki sifat fisik dan kimia yang sama dengan zeolit alam. Zeolit ini dibuat dari bahan lain dengan proses sintesis. Zeolit berwarna putih keabu-abuan, putih kehijauan, atau putih kekuning-kuningan dengan kerapatan zeolit 2,0-2,3 g/cm^3 dan bentuknya halus, lunak [25]. Jenis zeolit dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu zeolit alam dan zeolit sintesis/buatan, namun

kemurnian zeolit alam biasanya lebih rendah dibandingkan dengan zeolit sintetis/buatan [26].

Banyak peneliti yang sudah melakukan pembuatan zeolit dari natrium silikat dan natrium aluminat. Seperti pada penelitian [27] tentang pembentukan zeolit buatan secara hidrotermal, yaitu pencampuran natrium silikat dari abu sekam padi dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$ sebagai zeolit buatan dengan ditambah variasi konsentrasi Surfaktan *Cetyltrimethylammonium Bromide* (n-CTMABr). Selain itu pembuatan zeolit secara hidrotermal pernah dilakukan oleh [24], zeolit dibuat dengan pencampuran natrium silikat dari batu apung dan natrium aluminat dari $Al(OH_3)$.

Dari kedua penelitian tersebut, maka dilakukan pembaharuan dalam pembuatan zeolit dengan mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung. Natrium silikat diperoleh dari silika batu apung Lampung, natrium aluminat dibuat dari limbah kaleng aluminium dan daun kerai payung yang diolah menjadi arang. Penelitian ini memvariasikan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung sebagai zeolit buatan. Selanjutnya akan dilakukan karakterisasi XRF untuk mengetahui komposisi dari zeolit buatan.

Dan dilakukan uji adsorpsi air sadah pada zeolit buatan yang dihasilkan. Pada umumnya kesadahan disebabkan oleh adanya logam-logam atau kation-kation yang bervalensi dua, seperti Fe, Sr, Mn, Ca, dan Mg, tetapi penyebab utama dari kesadahan adalah kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) [28]. Uji adsorpsi zeolit pada air sadah bertujuan untuk mengetahui persentase penurunan kandungan senyawa pengotor seperti dalam air sadah sebelum dan sesudah perlakuan. Selanjutnya dilakukan karakterisasi sampel zeolit buatan setelah uji air sadah menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian akan

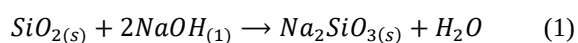
diperoleh sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometer UV-Vis lalu dilakukan karakterisasi XRD dan ICP-EOS.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui komposisi dari zeolit buatan, struktur kristal dari sampel optimum karakterisasi spektrofotometer UV-Vis, dan kemampuan zeolit buatan yang dihasilkan dalam menurunkan kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah.

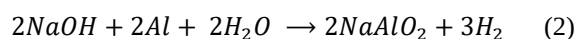
METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ballmill*, *magnetic stirrer* dengan *heating plate*, gelas beaker, gelas ukur, gelas Erlenmeyer, kertas saring, ayakan mesh, mortar pestle, neraca analitik, oven, *crushable ceramics*, XRF, XRD, spektrofotometri UV-Vis dan ICP-EOS. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu apung Lampung, limbah kaleng aluminium, arang daun kerai payung, $NaOH$, dan akuades.

Sebelum memproduksi zeolit, terlebih dahulu daun kerai payung yang dikumpulkan dari area FMIPA Universitas Lampung dikarbonisasi. Lalu, membuat natrium silikat dari batu apung Lampung yang dileburkan dengan $NaOH$ dan akuades. Reaksi yang terjadi pada peleburan batu apung adalah sebagai berikut :



Dan natrium silikat dibuat dengan mencampurkan limbah kaleng aluminium dengan $NaOH$ dan akuades. Reaksi yg terjadi yaitu:



Natrium silikat dan natrium yang sudah terbentuk kemudian dikarakterisasi XRF untuk mengetahui komposisinya.

Kemudian, zeolit dibuat dengan mencampurkan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung dengan variasi sampel seperti ditunjukkan

pada **Tabel 1**. Campuran tersebut kemudian disimpan pada suhu ruang selama 24 jam sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* yang dilengkapi dengan *hot plate*.

Tabel 1. Perbandingan natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung untuk setiap sampel

Sampel	Natrium Silikat (g)	Natrium Aluminat (g)	Arang daun kerai payung (g)
1	10	15	10
2	12,5	15	10
3	15	15	10
4	17,5	15	10
5	20	15	10
6	15	15	6
7	15	15	8
8	15	15	10
9	15	15	12
10	15	15	14

Masing-masing sampel mempunyai variasi yang berbeda secara tidak beraturan, hal ini dilakukan untuk mengetahui sampel mana yang lebih optimum. Setelah diaduk, saring sampel dengan kertas saring. Kemudian diamkan *magnetic stirrer* dengan *hot plate* selama 5 jam atau hingga dingin. Kemudian ulangi proses yang sama untuk setiap sampel. Sampel yang terbentuk dipanaskan pada 100°C selama 5 jam. Sampel kemudian disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Lalu sampel disaring dan dikeringkan pada 100°C selama 2 jam. Lakukan hal yang sama untuk setiap sampel. Selanjutnya, semua sampel dikarakterisasi dengan XRF untuk menentukan komposisi zeolit buatan.

Zeolit buatan kemudian di uji adsorpsi air sadah untuk mengetahui penurunan kandungan pengotornya. Kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi logam Ca dan Mg dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar magnesium (mg/l)} = C \times fp$$

C adalah kadar yang didapatkan dari hasil pengukuran (mg/l), dan fp adalah faktor pengenceran [29].

Setiap sampel kemudian dikarakterisasi dengan spektrofotometri UV-Vis. Lalu mengambil sampel optimum dari hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis dan melakukan karakterisasi XRD dan ICP-EOS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh hasil dari karakterisasi XRF pada natrium silikat dan natrium aluminat. Natrium silikat yang dihasilkan berwarna kekuning-kuningan dan memperoleh data komposisi seperti yang diperlihatkan oleh **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi natrium silikat

Nama		
No	Komponen	Persentase
1	Na	29,578%
2	Al	8,003%
3	Si	26,448%
4	P	1,182%
5	K	1,459%
6	Ca	8,808%
7	Ti	1,593%
8	V	111,0 ppm
9	Cr	291,5 ppm
10	Mn	0,606%

Natrium silikat pada penelitian ini memperoleh kandungan silika yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa batu apung Lampung mempunyai kelimpahan silika yang banyak sehingga bisa dijadikan sumber silika dalam pembuatan natrium silikat.

(3) Natrium aluminat yang terbentuk berwarna abu-abu dan memiliki komposisi seperti yang ditampilkan oleh **Tabel 3**.

Tabel 3. Komposisi natrium aluminat

No	Nama Komponen	Persentase
1	Na	15,794%
2	Al	75,010%
3	Si	1,901%
4	P	2,593%
5	K	0,315%
6	Ca	1,297%
7	Ti	0,169%
8	V	363,6 ppm
9	Mn	0,203%

Natrium aluminat memperoleh kandungan aluminium yang besar, hal menunjukkan bahwa limbah kaleng aluminium dapat digunakan sebagai bahan pembuatan natrium aluminat.

Pembuatan zeolit dari natrium silikat, natrium aluminat dan arang daun kerai payung memperoleh produk zeolit buatan seperti **Gambar 1**.

**Gambar 1.** Produk zeolit buatan

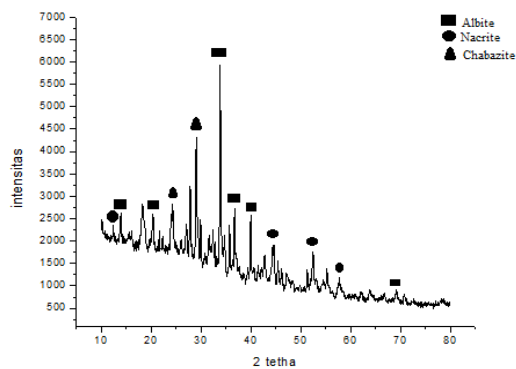
Zeolit buatan kemudian di karakterisasi menggunakan XRF untuk mengetahui komposisinya. Data XRF dari sampel optimum hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis ditunjukkan oleh **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil karakterisasi XRF zeolit buatan

Sampel 1	
Al	28,218%
Si	15,777%
P	1,589 %
K	7,215 %
Ca	25,722%
Ti	1,550 %
V	317,4 ppm
Cr	278,6 ppm
Mn	0,713 %
Fe	17,222%

Hasil karakterisasi XRF memperoleh kandungan senyawa aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, manganum dan ferum. Seharusnya didalam zeolit buatan terdapat kandungan natrium, namun alat karakterisasi yang digunakan tidak bisa mendeteksi senyawa natrium, karbon dan oksigen sehingga kandungan natrium dalam zeolit buatan tidak terbaca atau tertutupi. Pada **Tabel 4** diperoleh kandungan senyawa pengotor yang cukup besar antara kalsium dan ferum. Banyaknya logam-logam pengotor tersebut dapat mengganggu proses zeolit buatan, karena logam-logam tersebut dapat berkontribusi pada proses hidrotermal untuk membentuk fase lain.

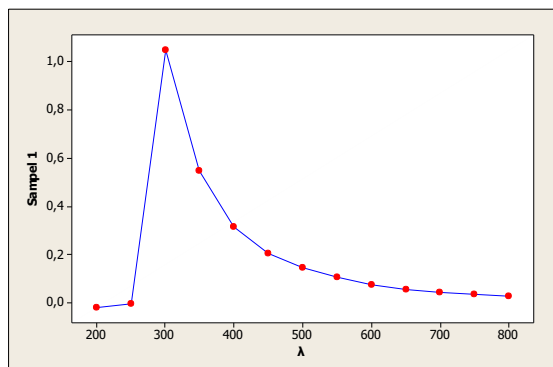
Sampel zeolit buatan dikarakterisasi menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui struktur kristalit dari sampel. Hasil karakterisasi XRD pada sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis ditunjukkan oleh **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD sampel optimum hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis

Dari karakterisasi XRD diperoleh tiga komponen yang dihasilkan yaitu *Chabazite*, *Albite* dan *Nacrite*. Setelah dilakukan uji adsorpsi didapat salah satu jenis zeolit alam yaitu *Chabazite*. Zeolit *Chabazite* dari hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis pada penelitian ini adalah zeolit dengan sifat adsorben.

Zeolit buatan yang sudah diuji adsorpsi air sadah selanjutnya di karakterisasi spektrofotometri UV-Vis. Pada sampel optimum hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis yaitu sampel 1 memperoleh nilai adsorbansi dengan panjang gelombang (λ) 200 nm sampai dengan 800 nm yang ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Data hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis pada sampel optimum

Gambar 3 menunjukkan bahwa sampel 1 adalah sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis dengan nilai adsorbansi sebesar 0,5482 mg/l panjang gelombang 350 nm. Pada sampel 1 warna dari larutan berwarna jernih dengan nilai adsorbansi terkecil. Hal ini menunjukkan bahwa sampel 1 dapat menyerap kandungan pengotor yang terdapat pada larutan dan mengurangi kadar kekeruhan.

Karakterisasi spektrofotometri UV-Vis yang sudah dilakukan memperoleh data adsorbansi zeolit pada panjang gelombang stabil yaitu $\lambda = 500 \text{ nm}$. Pada panjang gelombang 500 nm, larutan memiliki nilai sebelum diadsorpsi sebesar 0,4975 mg/l. Dan diperoleh persentase penurunan air sadah sebelum pengolahan pada panjang gelombang 500 nm seperti **Tabel 5**.

Tabel 5. Persentase penurunan adsorbansi air sadah pada panjang gelombang 500 nm selama 1 menit pengujian

No	Larutan air sadah sebelum pengolahan (mg/l)	Larutan air sadah sesudah pengolahan (mg/l)	Persentase penurunan (%)
1	0,4975	0,1454	70,77
2	0,4975	0,1864	62,53
3	0,4975	0,2776	44,20
4	0,4975	0,1988	60,04
5	0,4975	0,5592	-
6	0,4975	0,3514	29,36
7	0,4975	1,3877	-
8	0,4975	1,7626	-
9	0,4975	1,8333	-
10	0,4975	1,4556	-

Hasil larutan zeolit buatan yang sudah diuji adsorpsi air sadah akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan

kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, *solus per aqua*, dan pemandian umum.

Standar baku mutu air untuk keperluan higiene sanitasi memiliki pH 6,5-8,5 *mg/l* dan kadar maksimum kesadahan sebanyak 500 *mg/l*. Air untuk kolam renang memiliki standar baku kejernihan yang dapat terlihat jelasnya piringan merah hitam (Secchi) berdiameter 20 *cm* dari kedalaman 4,572 *m* dan alkalinitas sebanyak 80-200 *mg/l*. Air untuk SPA dalam standar baku mutu memiliki kadar alkalinitas sebanyak 80-200 *mg/l* dan kadar maksimum kekeruhan sebesar 0,5 *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Dan standar baku mutu air untuk pemandian umum memiliki tingkat kejernihan yang dapat ditentukan secara visual dengan terlihatnya piringan Secchi berdiameter 200 *mm* dalam minimal kedalaman 1,6 *m*.

Berdasarkan standar baku mutu tersebut, air dari uji adsorpsi air sadah belum bisa digunakan sebagai media air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, *solus per aqua*, dan pemandian umum. Karena kandungan pengotor seperti senyawa kalsium dan magnesium yang terdapat dalam air sadah. Selain itu, air dari uji adsorpsi air sadah mempunyai tingkat warna yang tidak terlalu jernih. Sehingga dapat dinyatakan bahwa air dari uji adsorpsi air sadah tidak memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, *solus per aqua*, dan pemandian umum.

Sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis selanjutnya dikarakterisasi ICP-EOS untuk mengetahui persentase penurunan kandungan kalsium dan magnesium pada air sadah. Merujuk dari **Persamaan 3** maka diperoleh persentase penurunan kandungan kalsium dan magnesium sebelum dan sesudah uji

adsorpsi zeolit pada air sadah yang diperlihatkan oleh **Tabel 6**.

Tabel 6. Persentase penurunan kandungan Ca dan Mg selama 1 menit pengujian

Unsur	Sebelum (<i>mg/l</i>)	Sesudah (<i>mg/l</i>)	Persentase penurunan ((%)
Ca	3.021	1.916	36,57
Mg	861,1	1.998	-

Berdasarkan **Tabel 6** dapat dilihat bahwa kandungan kalsium pada air sadah memperoleh persentase penurunan yang cukup besar yaitu sebanyak 36,57 %, namun kandungan magnesium tidak mengalami penurunan di karenakan kecilnya kandungan magnesium sebelum uji air sadah. Sehingga di simpulkan bahwa zeolit buatan yang sudah dibuat dapat mengurangi kandungan kalsium pada air sadah dan dapat digunakan sebagai pengurang senyawa pengotor pada air sadah.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa komposisi dari zeolit buatan yang dihasilkan adalah aluminium, silika, fosfor, kalium, kalsium, titanium, vanadium, kromium, manganum dan ferum.

Zeolit buatan sampel optimum dari karakterisasi spektrofotometri UV-Vis mempunyai struktur kristal yang menyerupai zeolit alam yaitu zeolit jenis *Chabazite* yang berada pada sudut 2θ di $28,995^\circ$. Dari hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis zeolit yang dihasilkan mempunyai sifat sebagai adsorben. Dan zeolit buatan yang diuji adsorpsi pada air sadah dapat menurunkan kandungan kalsium sebanyak 36,57% namun tidak dapat menurunkan kandungan magnesium pada uji adsorpsi air sadah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., bapak Dr. Sudibyo, S.T., M.Sc., dan ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., yang telah membimbing, memberi ilmu dan saran kepada penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Dan terimakasih kepada Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRTPB) BRIN, Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Lampung yang sudah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratomo, Indyo. 2006. Klasifikasi Gunung Api Aktif Indonesia, Studi Kasus dari Beberapa Letusan Gunung Api dalam Sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia*. Volume 1. Number 4. Page 209-227.
- [2] Simpkin, T., and Fiske, R.S. 1983. *Krakatau 1883: The Volcanic Eruption and Its Effect*. Smithsonian Institution Press. Washington DC.
- [3] Putra, Purna Sulastya., and Yulianto Eko. 2017. Karakteristik Endapan Tsunami Krakatau 1883 Didaerah Tarahan Lampung. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Volume 27. Number 1. Page 83-95.
- [4] Putra, Purna Sulstya., and Yulianto Eko. 2016. Stratigrafi Endapan Tsunami Krakatau 1883 Didaerah Limus Pantai Barat Teluk Semangko, Lampung. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*. Volume 7. Number 1. Page 35-44.
- [5] Noor, D. 2009. *Pengantar Geologi*. CV Graha Ilmu. Bogor.
- [6] Gunduz, L., Sariisik, A., Tozacan, B., Davraz, M., Ugur, I., and Cankiran, O. 1998. Pumice Technology. *Journal Süleyman Demiral University*. Volume 1. Page 275-285.
- [7] Ersoy, Bahri., Sariisik, Ali., Dikmen, Sedef., and Gencay, Sariisik. 2010. Characterization of Acidic Pumice and Determination of Its Elektokinetic Properties in Water. *Journal Power Technology*. Volume 197. Number 1-2. Page 129-135.
- [8] Mourhly, M., Khachani, M., Hamidi, A.E., Kacimi, M., Halim, M., and Arsalane, S. 2015. The Synthesis and Characterization of Low-Cost Mesoporous Silica SiO₂ from Local Pumice Rock. *Journal Nanomaterials and Nanotechnology*. Volume 5. Number 35. Page 1-7.
- [9] Hindryawati, N., and Alimudin, 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. Volume 7. Number 2. Page 75-77.
- [10] Taslimah, Sriyanti., Nuryo., and Narsito. 2005. Sintesis Bahan Hibrida Amino-Silika dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Volume 8. Number 1. Page 1-8.
- [11] Hildayati., Triwikantoro., Faisal, Heny., and Sudirman, 2009. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Komposit Karet Alami Silika. In *Seminar Nasional Pascasarjana IX ITS*. Surabaya.
- [12] Hunggurami, Elia., Touselak, Yosafat Sepriyanto., dan Kumalawati, A. 2013. Penggunaan Batu Apung dari Kabupaten Lembata sebagai Agregat Ringan Pengganti Sebagian Agrerat Kasar Pada Campuran Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 2. Hal. 105-120.

- [13] Oktaviany, H., Sunardi., and Wardani, Rejang M. 2021. Sintesis Zeolit dari Ekstrak Sekam Padi dan Kaleng Bekas sebagai Adsorben Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. Volume 9. Number 2. Page 185-192.
- [14] Zamani, H. A., Mina, R., Mohammad, R. A., and Soraia, M. 2014. Al^{3+} Selective PVC Membrane Sensor Based on Newly Synthesized 1,4-bis[o-(pyridine-2- carboxamidophenyl)]-1,4-dithiobutane as Neutral Carrier. *International Journal of Electrochemical Science*. Volume 9. Number 11. Page 6495 -6504.
- [15] Siregar, Yusraini Dian Inayati. 2010. Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium. *Jurnal Valensi*. Volume 2. Number 1. Page 362-36.
- [16] Nabawiyah, Khilfatin., and Abtokhi, Ahmad. 2010. Penentuan Nilai Kalor dengan Bahan Bakar Kayu Sesudah Pengarangan serta Hubungan dengan Nilai Proposital Zat Padat. *Jurnal Neutrino*. Volume 3. Number 1. Page 44-55.
- [17] Prasetyo, Beni Aris . 2020. Analisis Kualitas Jenis Arang Terhadap Kemampuan Energi Panas (Q) Pada Proses Pendidihan Air. *Skripsi*. Universitas Jember. Jember.
- [18] Subadra, I., Setiaji, B., and Tahir, I. 2005. *Activated Carbon Production from Coconut Shell with $(NH_4)HCO_3$ Activator as an Adsorbent in Virgin Coconut Oil Purification*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- [19] Irmanto and Suyata. 2010. Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi. *Molekul*. Volume 5. Number 1. Page 22-32.
- [20] Mohamed, R.M., Mkhallid, I.A., and Barakat, M.A. 2015. Rice Husk Ash as A Renewable Source for The Production of Zeolite NaY and Its Characterization. *Arabian Journal of chemistry*. Volume 8. Number 1. Page 48-53.
- [21] Ayele, L., Pérez, E., Mayoral, Á., Chebude, Y., and Díaz I. 2018. Synthesis of Zeolite A Using Raw Kaolin from Ethiopia and Its Application in Removal of Cr (III) From Tannery Wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Volume 93. Number 1. Page 146-154.
- [22] Czuma, N., Baran, P., Franus, W, Zabierowski, P., and Zarębska, K. 2018. Synthesis of Zeolites from Fly Ash with The Use of Modified Two-Step Hydrothermal Method and Preliminary SO_2 Sorption Tests. *Journal Adsorption Science and Technology*. Volume 37. Number 1-2. Page 61-76.
- [23] Prajaputra, Vicky., Abidin, Zaenal., and Widiatmaka. 2019. Methylene Blue Removal Using Developed Material from Volcanic Ash Soils. *International Journal of Scientific and Technology Research*. Volume 8. Number 7. Page 706-709.
- [24] Mahaddilla, Febri Melta and Putra, Ardian. 2013. Pemanfaatan Batu Apung sebagai Sumber Silika dalam Pembuatan Zeolit Sintetis. *Jurnal Fisika Unand*. Volume 2. Number 4. Page 262-268.
- [25] Pasaribu, K.A. 2011. *Efek Komposisi Zeolit-Serbuk Kayu dan Suhu Sintering Terhadap Karakteristik dalam Pembuatan Keramik Berpori Dengan Menggunakan PVA sebagai Perekat*. Respository Universitas Sumatera Utara. Medan.

- [26] Murniati.,Hidayat, Nurul., dan Mudasir. 2009. Pemanfaatan Limbah Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Dasar Sintesis Zeolit dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat Cu (II). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Page 228-238.
- [27] Warsito, S., Sriatun dan Taslimah. 2008. Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium bromide (n-CTMABr) Pada Sintesis Zeolit-Y. *Skripsi*. Fakultas MIPA. Universitas Diponegoro.
- [28] Widayat, Wahyu. 2002. Teknologi Pengolahan Air Sadah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Volume 3. Number 3. Page 256-266.
- [29] Khodariya, Nurul., Efendy, Makhfud., Amir, Nizar., and Nuzula, Nike Ika. 2021. Analisa Kadar Magnesium (Mg) Pada Air Bahan Baku Garam Di PT. Garam Persero Pamekasan. *Juvenil*. Volume 2. Number 4. Page 277-281.