



Dealuminasi Zeolit Daerah Moncongloe Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan Dengan Menggunakan Asam Sulfat

Sufriadin, Fuad Bawazir, Sri Widodo, Miftah Hujannah*

*Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Kampus Teknik, Jl. Poros Malino, KM.6 Bontomarannu, Gowa 92171, Sulawesi Selatan
Email: sufri.as@unhas.ac.id

SARI

Zeolit adalah mineral aluminosilikat terhidrat yang memiliki struktur berongga sehingga dapat digunakan sebagai bahan penyerap. Sifat absorben zeolit ini berguna dalam menyerap zat-zat beracun seperti amoniak dan logam berat, sehingga dapat digunakan sebagai imbuhan pakan ternak, tambak, penjernihan air limbah dan penjernihan minyak kelapa sawit. Akan tetapi, umumnya zeolit yang digunakan merupakan jenis zeolit alam yang memiliki rasio Si/Al rendah dan kandungan mineral pengotor yang relatif tinggi sehingga dapat mengurangi kemampuan absorpsi zeolit. Salah satu metode aktivasi zeolit adalah dealuminasi secara kimia yaitu proses penurunan kandungan Al pada struktur kristal zeolit untuk meningkatkan rasio Si/Al. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi mineralogi dan kimia zeolit. Selanjutnya percobaan dealuminasi zeolit dilakukan dengan menggunakan pelarut asam sulfat dengan variabel konsentrasi dan suhu. Hasil analisis menunjukkan zeolit mengandung mineral feldspar, klinoptilolit, mordenit, dan kuarsa, Komposisi kimia didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 . Hasil percobaan menunjukkan rasio Si/Al mengalami kenaikan dari 1,09 menjadi 1,29 yang diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 1,5 M dan suhu 100°C .

Kata kunci: Zeolit, Absorben, Dealuminasi, Asam Sulfat.

ABSTRACT

Zeolite is a hydrated aluminosilicate mineral that possesses pore structures to be used as an absorbent material. These absorbent properties of zeolite are useful in the adsorption of toxic materials such as ammonium and heavy metals. It can therefore be used as additives in livestock, shrimp farming, wastewater treatment, and palm oil refining. However, the commonly used natural zeolite has a low Si/Al ratio and higher impurities. It can therefore reduce the absorption capability.

How to Cite: Sufriadin, Bawazir, F., Widodo, S., Hujannah, M., 2022. Dealuminasi Zeolit Daerah Moncongloe Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan Dengan Menggunakan Asam Sulfat. Jurnal Geomine, 10 (3): 270-279.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit 10 August 2022

Received in from 11 August 2022

Accepted 15 November 2022

Licensed By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



One of the activation methods of zeolite is chemical dealumination; that is removal of Al from crystal structures of zeolite to increase its Si/Al ratio. This research aimed to find out the mineralogical and chemical composition of zeolite samples. Dealumination experiments were then carried out using sulfuric acid as a solvent with acid concentration and temperature as experimental variables. Results of the analysis show that zeolite contains feldspar, clinoptilolite, mordenite, and quartz. The chemical composition of zeolite was dominated by SiO_2 and Al_2O_3 . The experiment indicates Si/Al ratio was increased from 1.09 to 1.29, which was achieved at an H_2SO_4 concentration of 1.5 M with a temperature of 100°C .

Keywords: Zeolite, Absorbent, Dealumination, Sulfuric Acid.

PENDAHULUAN

Zeolit merupakan sebuah kristal aluminosilikat terhidrat yang memiliki sifat dan struktur menarik pada permukaan mesoporinya (Silaghi, et al., 2016). Perbandingan antara Si dan Al yang bervariasi akan menghasilkan banyak jenis mineral zeolit yang terdapat di alam. Variasi Si dan Al juga akan mempengaruhi kristal morfologi dan porositasnya (Luo, et al, 2022). Sampai saat ini, sudah ditemukan lebih dari 50 jenis mineral zeolit, namun demikian ada beberapa mineral pembentuk zeolit yang umum yaitu *analcime*, *chabazite*, *clinoptilolite*, *erionite*, *ferrierite*, *heulandite*, *laumontite*, *mordenite*, dan *phillipsite*. Klasifikasi zeolit didasarkan atas karakteristik morfologi, kristal struktur, komposisi kimia, diameter pori efektif, dan keterdapatannya di alam (Ramesh and Reddy, 2011; Stocker et al., 2017). Saat ini, zeolit banyak digunakan dalam berbagai industri terutama sebagai katalis dan adsorben (Danabas, et al., 2011; Norvia, dkk., 2016; Moshoeshoe, et al. 2017; Morante-Carballo et al., 2021).

Salah satu parameter penting mengenai sifat-sifat zeolit adalah rasio Si/Al. Sifat tersebut dapat mempengaruhi sifat pertukaran ion, stabilitas termal, dan hidrofobitasnya (Beyer, 2002). Semakin tinggi rasio Si/Al zeolit maka semakin tinggi tingkat penyerapannya. Dengan demikian, dalam proses penyerapan atau bahan adsorben, zeolit yang digunakan yakni memiliki rasio Si/Al yang tinggi. Zeolit alam pada umumnya memiliki kualitas rendah seperti ukuran porinya tidak seragam, aktivitas katalitiknya rendah, dan mengandung banyak mineral pengotor. Oleh karena itu perlu diaktivasi dan dimodifikasi terlebih dahulu sebelum digunakan (Handoko, 2001).

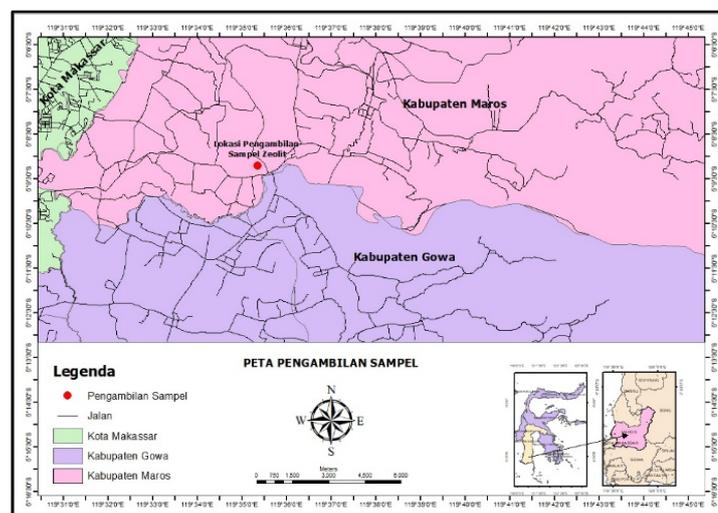
Jenis zeolit alam memiliki beberapa kelemahan seperti rasio Si/Al yang masih rendah dan berasosiasi dengan mineral-mineral pengotor yang mengkontaminasi zeolit. Rasio Si/Al zeolit alam ini masih dapat ditingkatkan hingga mencapai rasio Si/Al optimum yaitu dengan cara pelepasan atom Al dari struktur kristal zeolit baik menggunakan metode fisika maupun kimia yang disebut dengan “dealuminasi”. Dealuminasi zeolit dilakukan untuk meningkatkan rasio Si/Al yang berarti mengurangi kandungan Al tanpa merusak struktur kristalnya.

Modifikasi yang dilakukan untuk menaikkan rasio silika dan membuat aluminium keluar dari kerangka zeolit dengan mereaksikan asam atau pertukaran kation logam. Percobaan dealuminasi zeolit alam yang dilakukan oleh Suhartana dan Pardoyo (2020) dengan menggunakan pelarut asam klorida dan asam sulfat menunjukkan efektifitas H_2SO_4 lebih baik dibanding dengan HCl. Penggunaan asam sulfat juga dapat menurunkan ukuran partikel zeolit sehingga reaktivitasnya meningkat (Chen and Srubar, 2020). Selanjutnya, Wojciechowska (2019), melakukan percobaan dealuminasi klinoptilolit dengan menggunakan asam nitrat dan berhasil meningkatkan rasio Si/Al dari 4,9 menjadi 12. Penggunaan asam nitrat juga telah dilakukan oleh Al-Nayili, et al. (2021) dalam percobaan dealuminasi zeolit jenis mordenit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi mineralogi dan kimia dari zeolit di Daerah Moncongloe, menganalisis pengaruh konsentrasi pelarut asam sulfat terhadap dealuminasi zeolit, dan menganalisis pengaruh suhu pada proses dealuminasi zeolit.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang telah dilakukan meliputi pengambilan sampel zeolit alam, preparasi sampel zeolit, karakterisasi sampel, dealuminasi zeolit menggunakan pelarut asam sulfat dan analisis data. Lokasi pengambilan sampel berada pada Daerah Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis lokasi sampel zeolit terletak pada koordinat $119^{\circ}35'36.63''$ BT dan $5^{\circ}9'19.57''$ LS dengan elevasi 10 meter di atas permukaan laut. Lokasi penelitian dapat ditempuh menggunakan jalur darat dari Kota Makassar ke arah utara menuju Kabupaten Maros dengan total jarak tempuh sekitar 15 km dengan estimasi waktu perjalanan sekitar 30 menit. Daerah penelitian dapat dijangkau dengan menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Karakterisasi mineralogi sampel zeolit dilakukan dengan metode difraktometri sinar X (XRD) menggunakan difraktometer tipe Shimadzu Maxima X-7000. Kondisi operasi sebagai berikut: tegangan 40 kV, arus listrik 30 mA, sudut pemindai $5 - 70^\circ$ 2-theta, langkah pemindai $0,02^\circ$ dan waktu 2^o/menit. Interpretasi fasa mineral dalam sampel dilakukan dengan menggunakan program Impact Match! 3 versi trial. Penentuan komposisi kimia sampel zeolit dilakukan dengan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) tipe Shimadzu EDX-720. Seluruh analisis ini dilakukan di Laboratorium X-Ray, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Percobaan dealuminasi dilakukan dengan mencampurkan 50 gram sampel zeolit dengan larutan asam sulfat pada gelas kimia dengan volume 500 ml. Variabel konsentrasi H₂SO₄ adalah 0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M; dan 2,5 M. Sementara itu, variabel suhu adalah 90°C dan 100°C. Percobaan dilakukan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* tipe Corning-420 dengan kecepatan pengadukan 450 rpm. Setelah percobaan, sampel tersebut didiamkan selama satu hari penuh dan dicuci bersih sampai dalam keadaan pH netral, kemudian dilakukan penyaringan sampel menggunakan kertas saring *whattman* 42. Setelah itu sampel kemudian dikeringkan melalui pemanasan dalam oven pada suhu 110°C selama 5 jam. Sampel yang telah dikeringkan dianalisis kembali dengan metode XRD dan XRF untuk mengetahui perubahan komposisi mineralogi dan kimia.

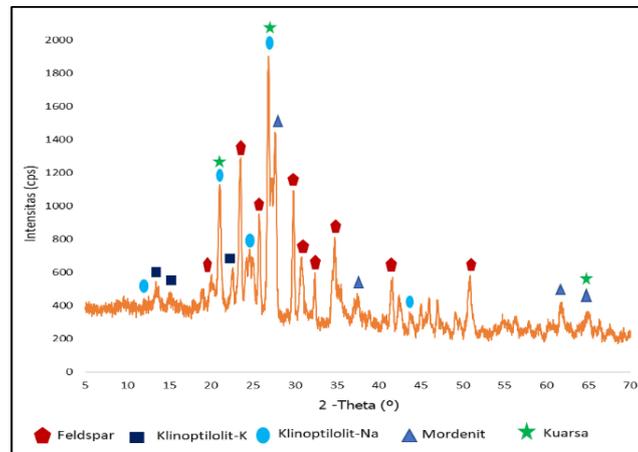
HASIL PENELITIAN

Analisis Mineralogi dan Kimia Sampel Zeolit

Hasil analisis XRD diperlukan agar dapat diketahui komposisi mineral yang terkandung dalam sampel zeolit yang sedang diteliti. Difraktogram hasil analisis XRD sampel zeolit seperti terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan interpretasi data XRD dengan menggunakan program Match dapat diidentifikasi mineral yang terkandung dalam sampel zeolit yaitu klinoptilolit-Na, klinoptilolit-K, feldspar, mordenit, dan kuarsa. Kehadiran klinoptilolit-Na ditandai dengan munculnya puncak difraktogram dengan nilai $d_{hkl} \sim 7,43\text{\AA}$; $4,67\text{\AA}$; $3,33\text{\AA}$, dan $2,58\text{\AA}$. Puncak-puncak difraktogram dengan nilai $d_{hkl} \sim 6,57\text{\AA}$; $5,91\text{\AA}$; dan $4,23\text{\AA}$ merupakan indikasi adanya mineral klinoptilolit-K. Sementara itu, mineral zeolite lainnya yakni mordenit diidentifikasi dengan kemunculan refleksi dengan nilai $d_{hkl} \sim 3,58\text{\AA}$; $3,00\text{\AA}$; $1,50\text{\AA}$; dan $1,44\text{\AA}$.

Sampel zeolit alam yang ditemukan ini juga memiliki kandungan mineral yang dominan yaitu feldspar yang diidentifikasi dengan munculnya refleksi dengan nilai d_{hkl} sebesar $4,47\text{\AA}$; $3,79\text{\AA}$; $3,00\text{\AA}$; $2,91\text{\AA}$; $2,77\text{\AA}$; $2,58\text{\AA}$; $2,17\text{\AA}$; dan $1,79\text{\AA}$. Mineral selanjutnya yang dijumpai pada sampel zeolit yakni kuarsa yang memiliki nilai d_{hkl} sebesar $4,25\text{\AA}$, $3,33\text{\AA}$, dan $1,44\text{\AA}$. Menurut Ghiara et al. (1999), keterdapatannya klinoptilolit dan mordenit akibat adanya proses diagenesis dari batuan piroklastik dengan mineral utama adalah plagioklas. Pembentukan klinoptilolit

dan mordenit dipicu oleh tingginya rasio aktivitas Si/Al dari fluida pada kondisi pH berkisar antara 9 – 10 serta temperatur 100 – 250°C (Choi and Kim, 1993).



Gambar 2. Difraktogram hasil analisis XRD sampel awal zeolit

Hasil analisis XRF bertujuan untuk menganalisis kandungan unsur dari sampel zeolit dengan mendeteksi karakteristik spektrum sinar-X yang dipancarkan setelah radiasi energi tinggi sinar-X primer. Analisis ini juga bertujuan untuk memperoleh data rasio Si/Al zeolit awal sebelum dilakukan dealuminasi, sehingga hasil data yang diperoleh dibandingkan dengan zeolit yang mengalami proses dealuminasi. Hasil analisis komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam sampel zeolit awal ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis kimia sampel zeolit dengan metode XRF

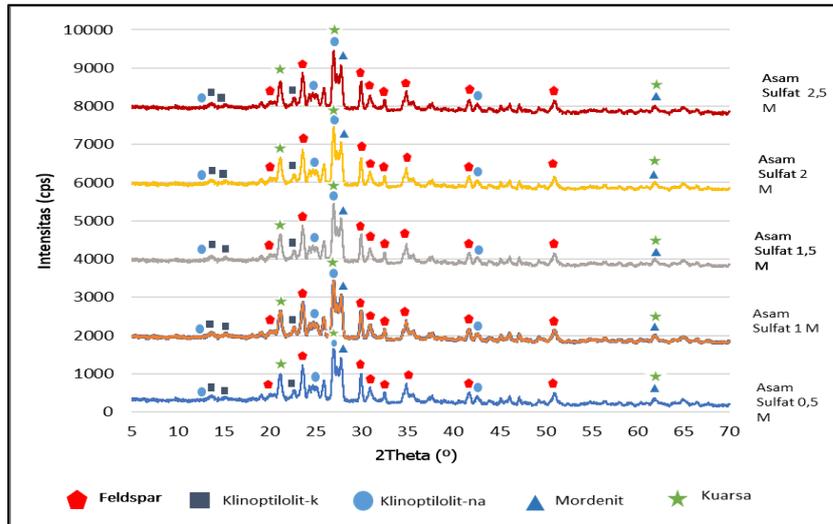
Komposisi oksida (%)									Total	Rasio
SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	BaO	SO ₃	SrO	Rb ₂ O	Oksida	Si/Al
48,65	39,25	10,33	0,97	0,41	0,27	0,21	0,04	0,02	100,15	1,09

Berdasarkan hasil analisis kimia menggunakan metode XRF, sampel awal zeolit memiliki kandungan SiO₂ sebesar 48,65% dan Al₂O₃ sebesar 39,25%. Komposisi kimia lainnya diantaranya K₂O 10,33%. Beberapa senyawa kimia berada di bawah 1% seperti Fe₂O₃ sebesar (0,97%), TiO₂ sebesar (0,41%), BaO sebesar (0,27%), SO₃ sebesar (0,21%), SrO sebesar (0,04%), Rb₂O sebesar (0,02%). Setelah dihitung rasio awal SiO₂/Al₂O₃, diperoleh nilai sebesar 1,23 kemudian dihitung rasio Si/Al pada sampel zeolit awal diperoleh nilai sebesar 1,09.

Dealuminasi Zeolit

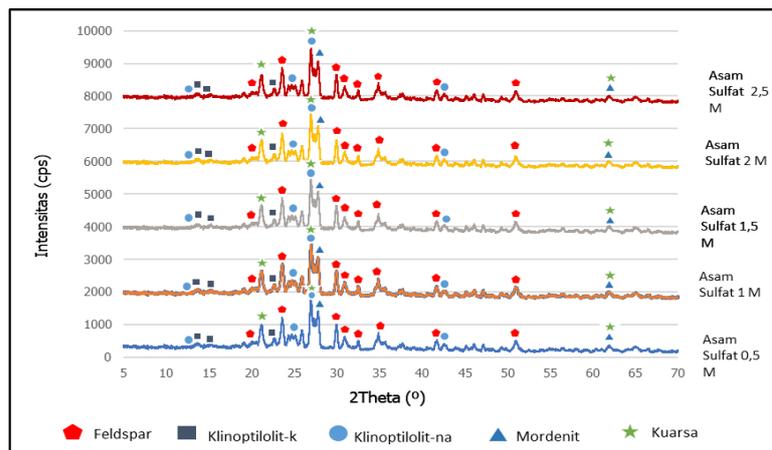
Analisis XRD Hasil Dealuminasi Zeolit

Analisis XRD dilakukan pada 10 sub sampel zeolit dari hasil dealuminasi dengan larutan asam sulfat, serta mempertimbangkan variabel konsentrasi asam (0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M; 2,5 M) dan suhu (90°C dan 100°C). Hasil pengujian XRD terhadap sub sampel zeolit dengan variabel konsentrasi asam sulfat pada suhu 90°C seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan difraktogram hasil pengujian XRD terhadap zeolit hasil dealuminasi dengan variabel konsentrasi asam sulfat pada suhu 90°C.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil analisis XRD zeolit yang terdealuminasi menggunakan larutan asam sulfat dengan lima konsentrasi yang berbeda pada suhu 90°C mengalami peningkatan pada puncak difraksi mineral klinoptilolit-Na dibandingkan sebelum dilakukan dealuminasi dengan nilai sebesar 2,56Å menjadi 3,38Å yang diperoleh dari percobaan dengan variabel konsentrasi asam sulfat 1,5 M.



Gambar 4. Perbandingan difraktogram hasil pengujian XRD terhadap zeolit hasil de-aluminasi pada variabel konsentrasi asam sulfat dan suhu 100°C.

Gambar 4 menyajikan data hasil pengujian XRD zeolit setelah dealuminasi dengan menggunakan variabel konsentrasi larutan asam sulfat pada suhu 100°C. Dapat dilihat bahwa puncak difraksi tertinggi zeolit merupakan mineral klinoptilolit-Na, puncak difraksi tertinggi mengalami peningkatan dibandingkan sebelum dilakukan dealuminasi dengan nilai sebesar 2,56Å menjadi 3,38Å yang diperoleh dari percobaan dengan variabel konsentrasi 2 M.

Analisis XRF Zeolit dari Proses Dealuminasi

Komposisi kimia sampel zeolit dapat diketahui melalui analisis XRF. Data komposisi kimia disajikan dalam satuan %. Analisis XRF ini bertujuan untuk mengetahui rasio Si/Al dengan menggunakan variabel konsentrasi pelarut setelah proses dealuminasi. Tabel 2 merupakan hasil analisis XRF yang menunjukkan komposisi kimia zeolit teraktivasi dari lima variabel konsentrasi asam sulfat pada suhu 90°C.

Berdasarkan hasil analisis XRF dapat dilihat bahwa komposisi SiO₂ mengalami peningkatan tertinggi dibandingkan dengan sampel zeolit sebelum dilakukan dealuminasi dengan komposisi sebesar 48,65% meningkat menjadi 50,31%. Hasil ini diperoleh dari percobaan dengan konsentrasi H₂SO₄ sebesar 1 M. Sebaliknya, komposisi Al₂O₃ mengalami penurunan tertinggi yaitu dari 39,25% turun menjadi 37,54% yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan konsentrasi H₂SO₄ sebesar 1 M.

Tabel 2. Komposisi kimia hasil dealuminasi zeolit dengan variabel konsentrasi H₂SO₄ pada suhu 90°C

Kode Percobaan	Komposisi (%)										Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Rasio Si/Al
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	BaO	SrO	Rb ₂ O	Total Oksida		
0,5 M	49,30	38,69	10,35	0,61	0,41	0,21	0,29	0,04	0,02	99,92	1,27	1,12
1 M	50,31	37,54	10,39	0,53	0,41	0,41	0,31	0,04	0,02	99,96	1,34	1,18
1,5 M	49,78	38,63	10,04	0,51	0,45	0,27	0,24	0,03	0,02	99,93	1,28	1,13
2 M	47,98	40,27	9,91	0,59	0,41	0,44	0,29	0,03	0,02	99,94	1,19	1,05
2,5 M	49,32	38,62	10,41	0,70	0,42	0,11	0,31	0,04	0,02	99,95	1,27	1,12

Rasio Si/Al pada lima konsentrasi pelarut dan suhu 90°C yaitu pada percobaan dengan konsentrasi H₂SO₄ 0,5 M memiliki rasio sebesar 1,12; percobaan dengan konsentrasi 1 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,18; percobaan dengan konsentrasi 1,5 M diperoleh rasio Si/Al sebesar 1,13; percobaan dengan konsentrasi 2 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,05; sedangkan percobaan dengan konsentrasi 2,5 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,12.

Sementara itu, komposisi senyawa oksida lainnya seperti K₂O, Fe₂O₃, TiO₂, BaO, SO₃, SrO, ZrO₂, dan Rb₂O tidak mengalami perubahan signifikan pada proses dealuminasi zeolit. Hal ini disebabkan karena konsentrasi dari senyawa tersebut relatif rendah dibanding dengan SiO₂ dan Al₂O₃.

Tabel 3. Komposisi kimia hasil dealuminasi dengan konsentrasi asam berbeda pada suhu 100°C

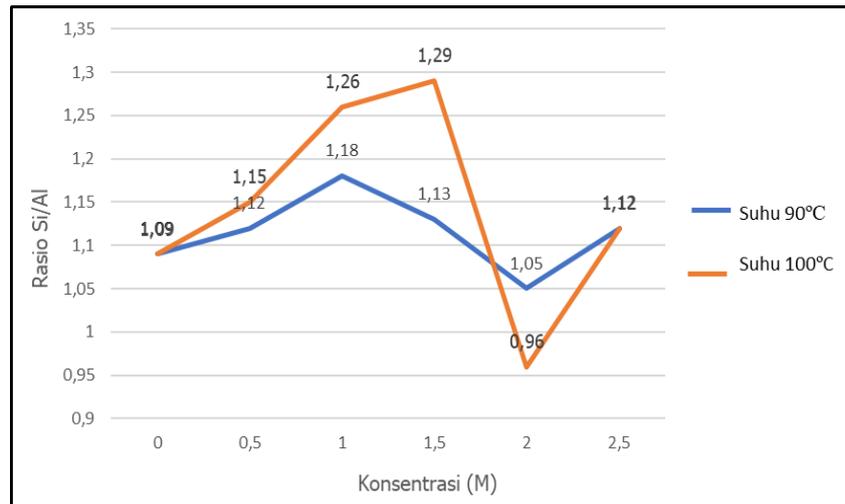
Kode Percobaan	Komposisi (%)										Rasio SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Rasio Si/Al
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	BaO	SrO	Rb ₂ O	Total Oksida		
0,5 M	49,93	38,14	10,22	0,57	0,39	0,30	0,39	0,04	0,02	99,93	1,30	1,15
1 M	51,65	35,91	10,66	0,38	0,40	0,59	0,29	0,03	0,02	99,93	1,43	1,26
1,5 M	51,97	35,38	10,99	0,33	0,39	0,51	0,30	0,03	0,02	99,92	1,46	1,29
2 M	49,86	37,86	10,35	0,49	0,41	0,63	0,29	0,03	0,02	99,94	1,15	1,09
2,5 M	49,42	38,87	9,86	0,75	0,42	0,20	0,33	0,04	0,02	99,95	1,27	1,12

Hasil analisis XRF terhadap sampel zeolit hasil percobaan dealuminasi dengan variabel konsentrasi asam pada suhu 100°C seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil analisis XRF terlihat komposisi SiO₂ mengalami peningkatan tertinggi dari 48,65% menjadi 51,65% yang diperoleh dari konsentrasi 1,5 M sedangkan komposisi Al₂O₃ mengalami penurunan terendah yang diperoleh dari konsentrasi 1,5 M sebesar 35,38%. Rasio Si/Al pada lima konsentrasi asam dan suhu 100 °C yaitu pada konsentrasi 0,5 M diperoleh rasio sebesar 1,15; pada konsentrasi 1 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,26; pada konsentrasi 1,5 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,29; konsentrasi 2 M memiliki rasio sebesar 0,96; dan terakhir pada konsentrasi 2,5 M memiliki rasio Si/Al sebesar 1,12. Komposisi senyawa oksida selain SiO₂ dan Al₂O₃ tidak menunjukkan perubahan yang signifikan.

Pengaruh Variabel Konsentrasi H₂SO₄ dan Suhu Terhadap Dealuminasi Zeolit

Variabel konsentrasi H₂SO₄ yang digunakan dalam penelitian ini yaitu konsentrasi 0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M; 2,5M sebelum dilakukan percobaan dealuminasi, hasil analisis sampel zeolit awal Daerah Moncongloe, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, seperti disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa komposisi rasio Si/Al yang diperoleh sebesar 1,09. Setelah dilakukan percobaan dealuminasi, pada Gambar 4 menunjukkan grafik perubahan rasio Si/Al yang diperoleh dari lima variabel konsentrasi asam sulfat dan dua variabel suhu. Percobaan dengan variabel suhu 90°C menunjukkan peningkatan rasio Si/Al tertinggi terjadi pada konsentrasi asam sulfat 1 M yaitu dari 1,09 menjadi sebesar 1,18.

Namun demikian, pada percobaan dengan variabel suhu 100°C memperlihatkan rasio Si/Al mengalami peningkatan tertinggi pada konsentrasi asam sulfat 1,5 M yaitu dari 1,09 menjadi 1,29. Hal ini dapat dilihat bahwa rasio Si/Al optimum pada penelitian ini yaitu 1,29 yang diperoleh pada percobaan dengan konsentrasi asam sulfat 1,5 M dan suhu 100°C.



Gambar 5. Perubahan rasio Si/Al berdasarkan variabel konsentrasi asam sulfat pada suhu 90°C dan 100°C

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis XRD yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sampel zeolit didominasi oleh feldspar dengan kandungan mineral zeolit jenis klinoptilolit dan mordenit. Kuarsa hadir dalam jumlah kecil. Komposisi kimia zeolit terutama disusun oleh senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan K_2O .
2. Hasil analisis XRF yang dilakukan terhadap hasil dealuminasi menunjukkan peningkatan rasio Si/Al tertinggi yaitu sebesar 1,29 yang diperoleh dari konsentrasi H_2SO_4 1,5 M pada suhu 100°C.
3. Berdasarkan hasil percobaan dealuminasi dengan variabel konsentrasi dan suhu memperlihatkan bahwa variabel dengan konsentrasi tinggi tidak dapat meningkatkan rasio Si/Al secara signifikan, dimana rasio Si/Al tertinggi dengan dua konsentrasi tersebut masing-masing sebesar 1,18 dan 1,29 pada suhu 90°C dan 100°C. Sebaliknya, dengan konsentrasi asam sulfat 2 M menunjukkan rasio Si/Al mengalami penurunan masing-masing sebesar 1,05 dan 0,96.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan banyak terima kasih kepada Ketua LP2M Universitas Hasanuddin atas dukungan biaya yang diberikan melalui skema Hibah Penelitian Dosen Penasehat Akademik (PDPA) tahun 2022 dengan kontrak No. 1476/UHN4.22/PT.01.03/2022. Terima kasih juga disampaikan kepada Muh. Akbar Musseng dan Wahyu P. Marasabessi atas bantuannya selama pengambilan sampel di lapangan dan kegiatan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Nayili, A., Albdiry, A., Salman, N. 2021. Dealumination of Zeolite Frameworks and Lewis Acid Catalyst Activation for Transfer Hydrogenation. *Arabian Journal for Science and Engineering*. Vol. 46, pp. 5709–5716.
- Beyer, H.K. 2002. Dealumination Techniques for Zeolites. *Molecular Sieves*, vol.3, Springer-Verlag, Berlin.
- Chen, X., and Srubar, W.V. 2020. Sulfuric acid improves the reactivity of zeolites via dealumination. *Construction and Building Materials*, vol. 264, pp. 1 – 9.
- Choi, Y. S. and Kim, S.J. 1993. Occurrence and Genesis of Zeolites from the Tertiary Volcanic Sediments in the Guryongpo Area, Korea. *J. Miner. Soc. Korea*, vol. 6, pp. 38 – 47.
- Danabas, D., and Altun, T. 2011. Effects Of Zeolite (Clinoptilolite) On Some Water And Growth Parameters Of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss* Walbaum, 1792). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol.6, pp. 1111 – 1116.
- Ghiara, M. R., Petti, C., Franco, E., Lonis, R., Luxoro, S., and Gnazzo, L., 1999. Occurrence Of Clinoptilolite and Mordenite In Tertiary Calc-Alkaline Pyroclastites From Sardinia (Italy). *Clays and Clay Minerals*, vol. 47, pp. 319 – 328.
- Handoko, S.D. 2001. Aktivitas katalitik Cr/zeolit dalam reaksi konversi katalitik fenol dan metil isobutil keton [skripsi]. Jember: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.
- Luo, L., Zeng, L., Zhang, X., Jiang, F., Xia, L., Dai, J., Meng, D., 2022. The dealuminated zeolites via acid leaching and followed calcination method for removal of hydrophobic bisphenol A. *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 305, pp. 1 – 9.
- Morante-Carballo, F., Montalvan-Borbano, N., Carrion-Mero, P., Esphinoso-Santos, N. 2021. Cation Exchange of Natural Zeolites: Worldwide Research. *Sustainability*, v. 13, pp. 1 – 26.
- Moshoeshoe, M., Tabiruka, M. S., Obuseng, V. 2017. A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites. *American Journal of Materials Science*, vol. 7, pp. 196-221.
- Norvia, S., Suhartana., Pardoyo. 2016. Dealuminasi Zeolit Alam Menggunakan Asam (HCl dan H₂SO₄) untuk Katalis pada Proses Sintesis Biodiesel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 19, pp. 72 – 76.
- Ramesh, K., and Reddy, D.D., 2011, Zeolite and their potential uses in agriculture (in: *Advance in Agronomy* 113), Elsevier, Amsterdam, pp. 219 – 241.
- Silaghi, M.C., Chizallet, C., Sauer, J., Raybaud, P. 2016. Dealumination mechanisms of zeolites and extra-framework aluminum confinement. *Journal of Catalysis*, vol. 339, pp. 242-255.
- Suhartana dan Pardoyo,. 2020. Activation of Natural Zeolite and Its Application for Adsorbents in Domestic Wastewater Treatment in Tembalang District, Semarang City. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. vol.23, pp. 28-33.
- Stocker, K., Ellersdorfer, M., Lehner, M., and Raith, J. G. 2017. Characterization and Utilization of Natural Zeolites in Technical Applications. *BHM*, vol. 162, pp. 142-147.
- Wojciechowska, K. 2019. The influence of desilication/dealumination processes on the physicochemical properties of clinoptilolite. *Clay Minerals*, vol. 54. Pp. 111- 119.