

## KARAKTERISASI KOMPOSISI KIMIA, LUAS PERMUKAAN PORI DAN SIFAT TERMAL DARI ZEOLIT BAYAH, TASIKMALAYA, DAN LAMPUNG

Aslina Br.Ginting, Dian Anggraini, Sutri Indaryati, Rosika Kriswarini  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Serpong

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI KOMPOSISI KIMIA, LUAS PERMUKAAN PORI, DAN SIFAT TERMAL DARI ZEOLIT BAYAH, TASIKMALAYA, DAN LAMPUNG.** Telah dilakukan karakterisasi komposisi kimia, luas permukaan, jari-jari pori, daya serap (*adsorption*) dan sifat termal zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung. Tujuan karakterisasi adalah untuk memahami karakter ketiga zeolit karena diduga perbedaan jenis zeolit akan menghasilkan karakter komposisi kimia, luas permukaan, jari-jari pori, dan daya serap yang berbeda. Hasil analisis menunjukkan bahwa zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung mengandung unsur kimia Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, dan S. Dari analisis luas permukaan diperoleh bahwa zeolit Lampung mempunyai luas permukaan  $10,0477 \text{ m}^2$ , jari-jari pori  $16,0653 \text{ \AA}$ , dan adsorpsi  $24,500 \text{ ml/g}$  lebih besar dibanding zeolit Tasikmalaya sebesar  $6,3319 \text{ m}^2$ , jari-jari pori  $16,2350 \text{ \AA}$ , dan adsorpsi  $13,2500 \text{ ml/g}$ , dan zeolit Bayah sebesar  $8,3528 \text{ m}^2$ ,  $16,2350 \text{ \AA}$ , dan  $13,250 \text{ ml/g}$ . Dari karakterisasi sifat termal diketahui bahwa ketiga zeolit tersebut mengalami pengurangan berat sebesar  $5,93\%$  hingga  $8,33\%$  yang menyebabkan terjadinya perubahan fase baru yang ditunjukkan oleh reaksi endotermik pada temperatur  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ketiga zeolit tersebut mengalami penurunan kapasitas panas hingga temperatur  $199,96 \text{ }^\circ\text{C}$  tetapi di atas temperatur  $216,66 \text{ }^\circ\text{C}$  mengalami kenaikan kapasitas panas hingga temperatur  $437,78 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hasil karakterisasi yang diperoleh menunjukkan bahwa perbedaan jenis zeolit tidak memberikan komposisi kimia dan karakter termal yang signifikan yang dibuktikan dengan analisis uji F, namun jelas terlihat perbedaan luas permukaan, jari-jari pori, dan besar adsorpsi dari ketiga zeolit tersebut. Hasil karakterisasi ini diharapkan sebagai langkah awal untuk mengetahui karakter ketiga zeolit untuk digunakan sebagai penukar ion cesium yang akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.

KATA KUNCI: zeolit, komposisi kimia, luas permukaan, jari-jari pori, sifat termal

### ABSTRACT

**CHARACTERIZATION OF CHEMICAL COMPOSITION, SURFACE AREA PORE, AND THERMAL PROPERTIES OF ZEOLITES FROM BAYAH, TASIKMALAYA, AND LAMPUNG.** Characterization of chemical composition, surface area, pore radius, adsorption, and thermal properties of zeolites from Bayah, Tasikmalaya, and Lampung have been performed. The purpose of the characterization is to understand the characteristics of the three zeolites since different types of zeolite will yield different chemical composition, surface area, pore radius, and adsorption. The analysis shows that zeolites from Bayah, Tasikmalaya, and Lampung consist of chemical elements Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, and S. The analysis of the surface area indicates that zeolite from Lampung has surface area of  $10.0477 \text{ m}^2$ , pore radius of  $16.0653 \text{ \AA}$ , and adsorption of  $24.500 \text{ ml/g}$ , which are greater than those of zeolite from Tasikmalaya with surface area of  $6.3319 \text{ m}^2$ , pore radius of  $16.2350 \text{ \AA}$ , adsorption of  $13.2500 \text{ ml/g}$ , zeolite from Bayah with surface area of  $8.3528 \text{ m}^2$ , pore radius of  $16.2350 \text{ \AA}$ , and adsorption of  $13.250 \text{ ml/g}$ . From of the

*thermal properties characterization it is shown the three zeolites experienced weight reduction from 5.93% to 8.33%, which results in the formation of new phases as indicated by endothermic reactions from 150 °C to 600 °C and from 850 °C to 1000 °C. The three zeolites experienced a decrease in heat capacity up to temperature of 199.96 °C, whereas at temperatures above 216.66 °C the zeolites experienced an increase in heat capacity up to 437.78 °C. The results of the characterization indicate that different types of zeolite do not yield significant difference in chemical composition and thermal characteristics as proven with F test, however different surface area, pore radius, and adsorption characteristics are observed. The characterization results are expected to be the first step in determining the characteristics of the three zeolites that are to be used for cesium ion exchange in the incoming research.*

*FREE TERMS: zeolite, chemical composition, surface area, pore radius, thermal characteristics*

## I. PENDAHULUAN

Zeolit adalah kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral  $\text{AlO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  yang saling berhubungan melalui atom O, sehingga zeolit mempunyai rumus empiris sebagai berikut  $^x/n \text{M}^{n+}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot z\text{H}_2\text{O}$ . Komponen pertama  $\text{M}^{n+}$  adalah sumber kation yang dapat bergerak bebas dan dapat dipertukarkan secara sebagian atau secara sempurna oleh kation lain<sup>[1,2]</sup>. Di wilayah Indonesia sangat banyak ditemukan mineral zeolit, seperti di daerah Bayah, Cibinong, Bogor, Sukabumi, Lampung, dan Tasikmalaya. Bahan tambang zeolit ini mempunyai sifat yang dikenal sebagai penukar kation, penyerap dan penyaring molekul serta sebagai katalis. Selain mengandung alkali dan alkali tanah, zeolit alam juga mengandung mineral lain seperti *feldspar*, kuarsa dan lainnya.

Perbedaan jenis zeolit adalah mempunyai daya serap (*adsorption*) molekul yang berbeda-beda secara selektif. Keselektifan ini tergantung dari struktur masing-masing jenis zeolit, sehingga zeolit dapat digunakan sebagai:

- a. Penyaring ion, molekul atau sebagai katalis  
Zeolit dapat menyaring ion, molekul, maupun atom karena mempunyai saluran (*channel*) dan rongga (*cavity*) dalam struktur zeolit bila *oxygen window* dari saluran atau rongga lebih kecil dari ion, molekul, atau atom. Zeolit mempunyai pori sehingga juga dapat digunakan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi dalam proses kimia.
- b. Bahan penyerap  
Bila zeolit dipanaskan pada suhu tinggi maka akan terjadi dehidrasi, penguapan yang dikandungnya sehingga menyebabkan zeolit akan selektif dalam menyerap molekul-molekul seperti He,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , Ar, dan Kr. Proses penyerapan molekul oleh zeolit terjadi karena strukturnya juga mempunyai polaritas yang tinggi.
- c. Penukar ion  
Pertukaran ion pada dasarnya terjadi dalam suatu cairan yang mengandung anion, kation, dan molekul air dimana salah satu atau sebagian ion yang terikat pada matriks mikropori berfase padat. Molekul air dapat berada dalam mikropori bersama ion (kation, anion) dengan muatan yang berlawanan dengan ion matriks sehingga terjadi kesetimbangan muatan untuk mencapai keadaan netral, sehingga ion yang berada dalam cairan dapat bergerak bebas di dalam matriks mikropori. Karena zeolit mengandung kation alkali atau alkali tanah dengan

rumus empiris  ${}^x/n M^{n+}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$ , komponen pertama  $M^{n+}$  sebagai sumber kation yang dapat bergerak bebas dan dapat dipertukarkan secara sebagian atau secara sempurna oleh kation lain. Dengan demikian, zeolit dapat digunakan sebagai penukar kation terhadap isotop-isotop Cs-134, Cs-137, Sr-90, Ba-140, dan isotop lainnya yang terdapat di dalam hasil belah bahan bakar dan limbah bahan bakar. Bahan bakar nuklir mengandung bahan fisil di antaranya adalah U-235 dimana setelah diradiasi di dalam reaktor akan mengalami reaksi fisi dan terurai menjadi isotop-isotop yang lebih ringan seperti Sr-90, Cs-134, Cs-137, Ba-140, Ce-144, dan isotop lainnya. Reaksi fisi ini disertai dengan pelepasan sejumlah energi dan partikel  $n$  yang dapat menghasilkan reaksi fisi selanjutnya (berantai).

Mengingat komponen  $M^{n+}$  dari zeolit tersebut dapat digunakan sebagai penukar ion<sup>[3,4]</sup> maka pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi zeolit alam dari Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung yang meliputi analisis komposisi unsur dengan menggunakan XRF<sup>[5]</sup>, dan dilanjutkan dengan analisis luas permukaan pori dengan menggunakan *surface area meter*<sup>[6]</sup> dimana besar luas permukaan pori dari zeolit tersebut akan berpengaruh kepada kemampuan besar atau kecil daya serapnya terhadap kation. Disamping itu, ketiga zeolit tersebut diduga juga mempunyai karakter termal yang berbeda, sehingga selain analisis komposisi dan analisis luas permukaan pori juga akan dilakukan karakterisasi termal yang meliputi perubahan berat, kapasitas panas, entalpi, temperatur kestabilan panas, dan perubahan fasa dengan menggunakan alat TG-DTA-DSC<sup>[7,8]</sup>.

## II. TATA KERJA

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan adalah zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung, dan standar.

### 2.2. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah XRF, *surface area meter*, dan TG-DTA-DSC.

### 2.3. Tata Kerja

Zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung, dan standar ditimbang masing-masing sebesar 50 gr, kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel dan seterusnya dimasukkan ke dalam *chamber* XRF untuk divakum hingga tekanan  $10^{-5}$  bar. Analisis komposisi dilakukan dengan kuat arus 100  $\mu A$  dan tegangan 14 kV dengan waktu cacah 300 detik. Hasil analisis berupa spektrum kemudian dievaluasi secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui unsur-unsur penyusun dari zeolit tersebut. Setelah dilakukan analisis komposisi, dilakukan analisis luas permukaan dan jari-jari pori dengan alat *surface area meter* dengan berat sampel 100 gr yang dilanjutkan dengan karakterisasi termal dengan langkah-langkah sebagai berikut.

Zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung ditimbang masing-masing sebesar 100 mg. Zeolit Bayah yang sudah diketahui beratnya dimasukkan ke dalam krusibel platina, kemudian dimasukkan ke dalam *chamber DTA rod* untuk divakum hingga tekanan  $10^{-2}$  bar. Setelah kevakuman tercapai, kemudian dialiri dengan gas argon UHP dengan tekanan 2,5 bar. Kemudian DTA rod dipanaskan dengan temperatur 30 °C hingga 1000 °C dengan kecepatan pemanasan 10 °C/menit. Hasil analisis berupa termogram TG-DTA-DSC dievaluasi untuk mengetahui kapasitas panas, entalpi, kestabilan terhadap panas, perubahan fasa, temperatur reaksi termik, dan perubahan

berat. Hal yang sama kemudian dilakukan terhadap zeolit Tasikmalaya dan Lampung sehingga diperoleh karakteristik termal dari ketiga zeolit tersebut.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisa Komposisi Kimia

Analisis komposisi terhadap zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung telah dilakukan dengan alat XRF. Dari analisis tersebut diperoleh hasil bahwa pada ketiga zeolit tersebut terdapat unsur-unsur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung, dan standar hasil analisis dengan XRF

Unsur	Bayah (cps)	Tasikmalaya (cps)	Lampung (cps)	Standar (cps)	Temperatur lebur (°C)
Al	5,43	5,82	4,57	5,52	658,5
Si	91,55	76,29	67,28	100,20	1427
P	2,05	-	1,86	-	44,1
K	6,35	11,65	12,16	4,96	63,4
Ca	17,44	14,68	13,49	4,79	851
Ti	2,80	2,53	2,03	2,10	1800
Fe	20,98	23,43	21,71	8,99	1530
S	42,69	-	-	43,87	119

Dari analisis komposisi diatas dapat diketahui unsur penyusun dari ketiga zeolit tersebut adalah Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, dan S serta korelasinya dengan karakteristik termalnya khususnya temperatur lebur yang menyebabkan terjadinya pengurangan berat dan perubahan fase pada ketiga zeolit tersebut. Dalam usaha untuk mengetahui adanya perbedaan komposisi dari ketiga zeolit tersebut maka dilakukan perhitungan statistik dengan analisis uji beda (uji F). Hasil analisis menunjukkan bahwa ketiga zeolit tersebut tidak mempunyai perbedaan komposisi yang signifikan yang ditunjukkan dengan perbandingan F hasil pengukuran lebih kecil dari nilai F pada tabel ANOVA dengan derajat kepercayaan 95%<sup>[9]</sup>.

#### 3.2. Analisis Luas Permukaan

Analisis luas permukaan dilakukan terhadap zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung yang segar (tanpa perlakuan panas) dan zeolit panas yaitu zeolit yang telah dikenakan perlakuan panas hingga temperatur 200 °C untuk menghilangkan kandungan air kristalnya serta terhadap zeolit standar sebagai pembanding. Dari analisis luas permukaan ini diperoleh hasil bahwa luas permukaan zeolit segar lebih besar dibanding luas permukaan zeolit yang telah mengalami pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Namun zeolit segar mempunyai jari-jari pori lebih kecil dibanding zeolit panas. Hal ini disebabkan kandungan air kristal dan unsur P, K, dan S di dalam zeolit tersebut telah terurai sehingga terjadi pelepasan beberapa senyawa.

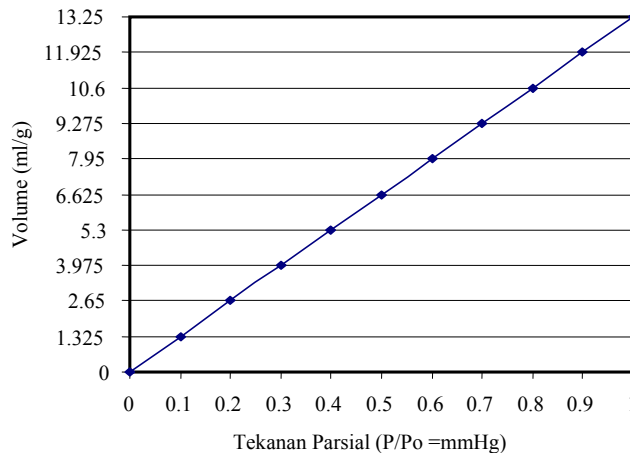
Tabel 2. Luas permukaan, jari-jari pori dan adsorpsi zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung, dan standar

No.	Jenis Zeolit	Luas permukaan (m <sup>2</sup> )	Luas permukaan spesifik (m <sup>2</sup> /g)	Jari-jari pori (Å)	Adsorpsi (ml/g)*
1	Bayah segar	6,352 769	21,181 696	16,235 009	13,250
2	Bayah panas	4,279 944	11,508 318	19,493 612	7,300
3	Tasikmalaya segar	8,331 928	25,588 571	19,801 350	13,850
4	Tasikmalaya panas	4,074 736	17,443 219	21,962 341	12,450
5	Lampung segar	10,047 754	47,084 132	16,065 319	24,500
6	Lampung panas	8,320 011	25,910 964	19,301 986	16,200
7	Standar	1,010 208	4,856 767	30,914 632	4,900

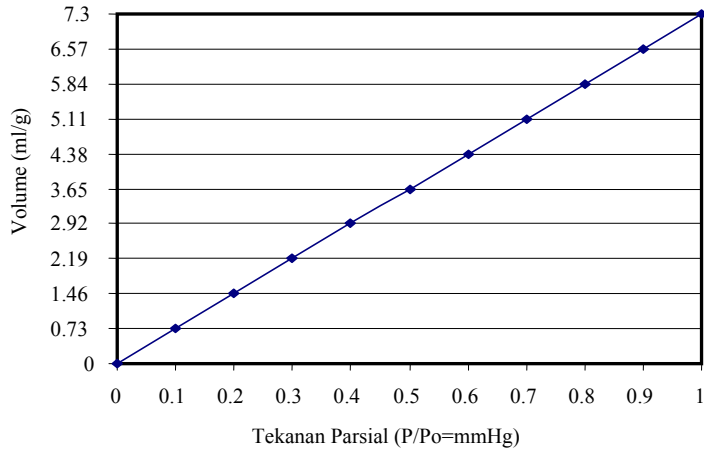
\* Pada perbandingan tekanan ( $P/P_0 = \text{mmHg}$ ) dan temperatur ruang dalam keadaan isotermal

Zeolit Lampung mempunyai luas permukaan lebih besar dibandingkan luas permukaan zeolit Tasikmalaya dan zeolit Bayah, dengan besaran masing-masing 10,047 754 m<sup>2</sup>, 8,331 928 m<sup>2</sup>, dan 6,352 769 m<sup>2</sup> seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

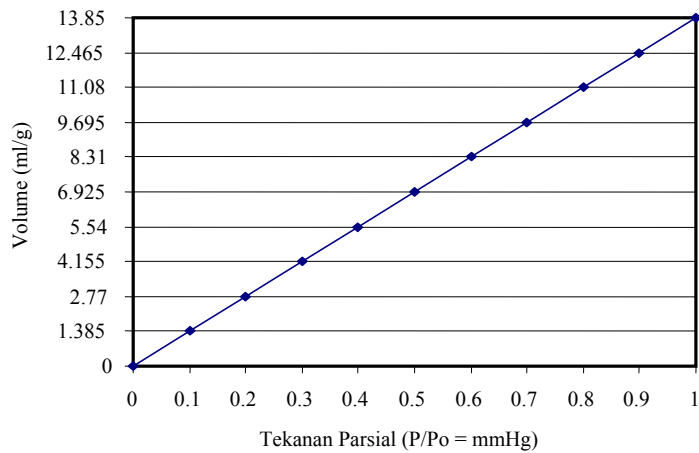
Selain luas permukaan dan jari-jari pori, dari analisis ini dapat juga diketahui daya serap (*adsorption*) masing-masing zeolit terhadap gas nitrogen (N<sub>2</sub>) pada temperatur ruang dalam keadaan isotermal sebagai korelasi antara tekanan parsial ( $P/P_0$ ) mmHg dengan volum (ml/g) tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(a) sampai Gambar 2(f). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa adsorpsi zeolit yang paling besar terjadi pada zeolit Lampung segar sebesar volum 24,500 ml/g yang diikuti masing-masing dengan zeolit Tasikmalaya dan zeolit Bayah sebesar 13,800 ml/g dan 13,250 ml/g pada tekanan parsial ( $P/P_0$ ) sama dengan 1 mmHg. Dari fenomena besaran luas permukaan dan luas permukaan spesifik dan daya serap dari ketiga jenis zeolit tersebut, dapat dinyatakan bahwa zeolit Lampung cukup baik bila digunakan sebagai penyerap isotop bahan bakar dibanding zeolit Tasikamalaya dan zeolit Bayah. Namun hal ini akan dibuktikan pada penelitian selanjutnya yaitu besar daya serap zeolit Lampung terhadap isotop Cs-137.



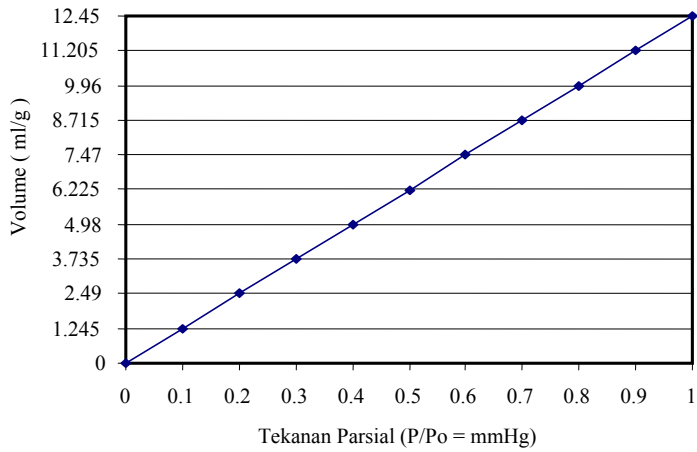
Gambar 2(a). Adsorpsi zeolit Bayah segar dalam keadaan isotermal sebagai fungsi  $P/P_0$  (mmHg) dan Volum (ml/g)



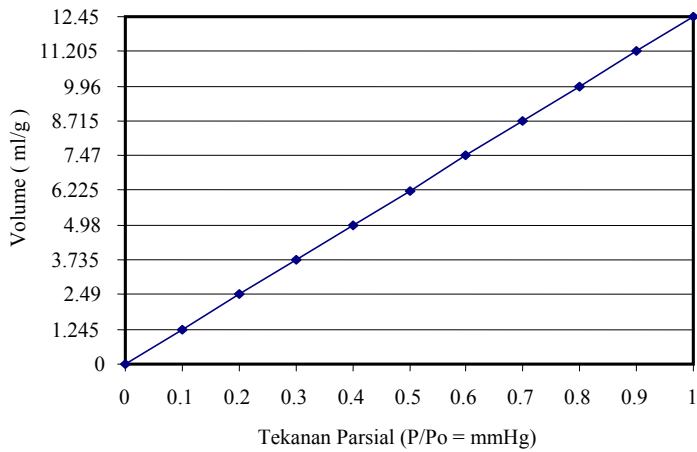
Gambar 2(b). Adsorpsi zeolit Bayah panas pada keadaan isothermal sebagai fungsi P/Po (mmHg) dan volum (ml/g)



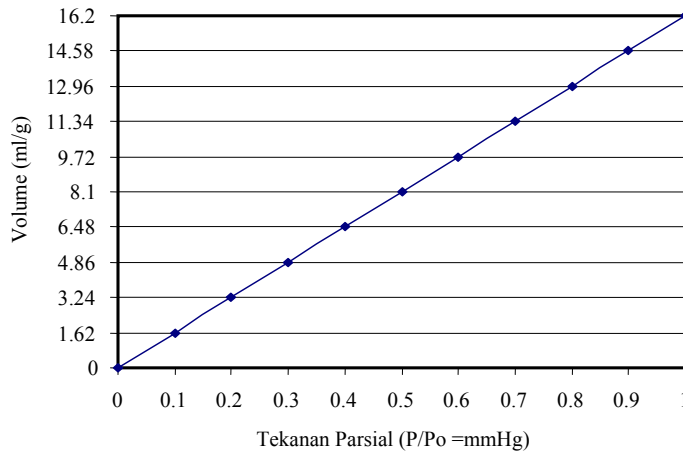
Gambar 2(c). Adsorpsi zeolit Tasikmalaya segar pada keadaan isothermal sebagai fungsi P/Po (mmHg) dan volum (ml/g)



Gambar-2(d). Adsorpsi Zeolit Tasik Panas Pada Keadaan Isotermal Sebagai Fungsi Tekanan P/Po (mmHg) Dan Volume (ml/g)



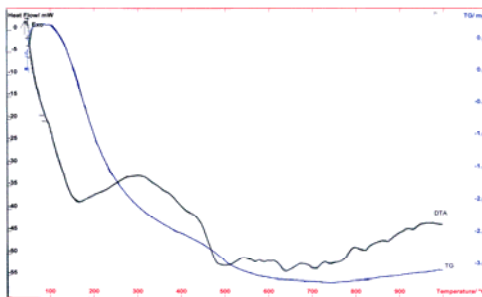
Gambar 2(e). Adsorpsi zeolit Lampung segar pada keadaan isotermal sebagai fungsi P/Po (mmHg) dan volum (ml/g)



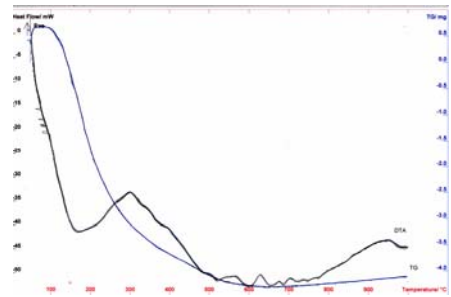
Gambar 2(f). Adsorpsi zeolit Lampung panas pada keadaan isothermal sebagai fungsi P/Po (mmHg) dan volum (ml/g)

### 3.3. Analisis Sifat Termal

Dari analisis termal yang dilakukan pada temperatur 30 °C hingga 1100 °C dapat diketahui bahwa ketiga jenis zeolit di atas mengalami pengurangan berat (*Thermal Gravimetry*) dan perubahan fase. Fenomena terjadinya perubahan berat ditunjukkan oleh perubahan aliran panas kurva TG yang mulai terjadi pada temperatur 150 °C dan berakhir pada temperatur 600 °C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a) sampai dengan Gambar 3(d).

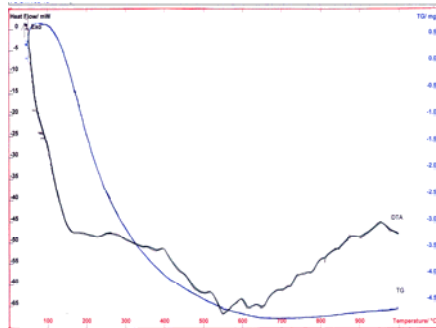


Gambar 3 (a). Termogram TGDTA zeolit Bayah segar

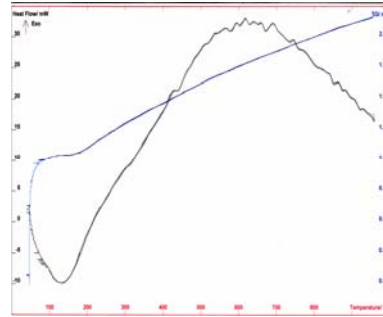


Gambar 3(b). Termogram TGDTA zeolit Tasikmalaya segar





Gambar 3(c). Termogram TGDTA zeolit Lampung segar



Gambar 3(d). Termogram TGDTA zeolit Bayah panas

Pengurangan berat ini terjadi karena adanya pelepasan kandungan air kristal yang terikat pada senyawa  $x/n M^{n+}[(AlO_2)_x (SiO_2)_y] \cdot zH_2O$  masing-masing sebesar  $-3,94$  mg dari  $66,5$  mg berat semula untuk zeolit Bayah, sebesar  $-4,91$  mg dari  $65,3$  mg berat semula untuk zeolit Tasik dan sebesar  $-5,48$  mg dari  $65,8$  mg berat semula untuk zeolit Lampung. Dari hasil analisis TG ini dapat diketahui bahwa kandungan air kristal di dalam zeolit tersebut sekitar 5 hingga  $8,33\%$  seperti yang dituangkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengurangan berat zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung

Jenis zeolit	Temperatur (°C)	Pengurangan berat TG (mg)	Pengurangan berat TG (%)
Bayah	100 – 630	$-3,94$	5,93
Tasikmalaya	100 – 600	$-4,91$	7,52
Lampung	100 – 630	$-5,48$	8,33
	30 – 630	Reaksi endotermik	Peleburan unsur P, K, dan S Perubahan fase
	658,5 – 1000	Reaksi endotermik	Peleburan unsur Al dan Ca Perubahan fase

Sedangkan dari termogram DTA yang terlihat pada Gambar 3(a) sampai dengan Gambar 3(d) dapat diketahui bahwa ketiga zeolit tersebut mengalami fenomena perubahan fase yang ditunjukkan dari perubahan *baseline heat flow* yang mulai terjadi pada temperatur  $150$  °C hingga  $600$  °C membentuk puncak endotermik. Reaksi termokimia endotermik tersebut menunjukkan terjadinya peleburan dan penguapan unsur P pada temperatur  $280$  °C hingga  $453$  °C, unsur K pada temperatur  $776$  °C, dan unsur S pada  $119$  °C<sup>[5]</sup> yang ditunjukkan dengan adanya penurunan *base line* dari *heat flow* DTA. Unsur-unsur sebagai penyusun zeolit tersebut mempunyai titik lebur dan titik uap rendah sehingga terjadi interaksi yang menyebabkan terjadinya perubahan fase. Hal ini didukung oleh analisis XRF seperti yang dituangkan pada Tabel 1. Pada temperatur di atas  $550$  °C hingga  $1000$  °C terjadi perubahan *baseline heat flow* yang beraturan yang menunjukkan terjadinya fase-fase baru yang disebabkan peleburan unsur Al pada temperatur  $658,5$  °C dan unsur Ca pada  $850$  °C. Terjadinya perubahan fase ini disebabkan karena unsur-unsur penyusun dari zeolit tersebut berinteraksi satu dengan lainnya membentuk senyawa baru maupun fase baru.

Terbentuknya senyawa baru maupun fase baru akibat reaksi termik pada temperatur di atas harus dianalisis lebih lanjut dan dibuktikan dengan XRD.

Karakter termal lainnya yang dianalisis adalah kapasitas panas dari zeolit Bayah, Tasikmalaya dan Lampung menggunakan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*. Hasil analisis kapasitas panas ketiga zeolit dituangkan pada Tabel 4. Dari hasil analisis ini dapat diketahui bahwa ketiga zeolit mengalami penurunan kapasitas panas mulai pada temperatur 136,15 °C hingga temperatur 196,66 °C. Fenomena ini menunjukkan terjadinya peleburan unsur P, K, S dan penguapan air kristal yang menyebabkan pengurangan berat zeolit seperti yang terjadi pada fenomena *Thermal Gravimetry* di atas yang menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas panas. Namun di atas temperatur 216,66 °C hingga 437,78 °C besaran kapasitas panas bertambah besar dengan naiknya temperatur. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi antara unsur-unsur setelah pengurangan unsur P, K, S dan air kristal tidak menyebabkan penurunan kapasitas panas<sup>[6]</sup>.

Tabel 4. Data kapasitas panas zeolit Bayah, Tasikmalaya, Lampung dan standar

Temperatur (°C)	Kapasitas panas (J/g °C)			
	Zeolit Bayah	Zeolit Tasikmalaya	Zeolit Lampung	Standar
55,45	0,63	0,70	0,74	0,71
75,65	0,68	0,72	0,78	0,83
95,81	1,10	1,24	1,11	1,27
115,91	1,25	1,39	1,27	1,51
136,15	1,17	1,29	1,20	1,47
156,22	1,04	1,15	1,08	1,36
176,31	0,97	1,05	1,02	1,29
196,66	0,96	1,03	1,02	1,29
216,66	0,99	1,05	1,07	1,37
236,73	1,03	1,08	1,12	1,49
256,85	1,06	1,10	1,16	1,61
276,96	1,06	1,09	1,17	1,70
297,03	1,04	1,07	1,15	1,76
317,21	1,02	1,04	1,13	1,77
337,30	1,01	1,03	1,11	1,75
357,37	1,03	1,06	1,13	1,72
377,51	1,09	1,13	1,18	1,71
397,61	1,18	1,22	1,25	1,73
417,73	1,24	1,27	1,28	1,83
437,78	1,39	1,36	1,37	2,00

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa ketiga zeolit tersebut tidak mempunyai perbedaan kapasitas panas yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan uji F, dimana diperoleh F pengukuran lebih kecil dibandingkan F tabel (Tabel ANOVA) pada derajat kepercayaan 95%<sup>[7]</sup>.

#### IV. KESIMPULAN

1. Hasil karakterisasi zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung menunjukkan bahwa unsur penyusun yang terkandung dalam ketiga zeolit tersebut adalah unsur Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, dan S.

2. Perbedaan jenis zeolit tidak memberikan perbedaan komposisi yang signifikan terhadap unsur Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, dan S.
3. Ketiga zeolit mempunyai karakter termal yang tidak berbeda, yang dibuktikan dengan analisis uji F, yaitu:
  - mengalami pengurangan berat sebesar 5,93% hingga 8,33%.
  - mengalami reaksi endotermik pada temperatur 150 °C hingga 600 °C dan 850 °C hingga 1000 °C sehingga menyebabkan perubahan fase baru.
  - mengalami penurunan kapasitas panas hingga temperatur 199,96 °C tetapi pada 216,66 °C mengalami kenaikan kapasitas panas hingga temperatur 437,78 °C.

Namun dari analisis luas permukaan dapat diketahui bahwa zeolit Lampung mempunyai luas permukaan ( $m^2$ ), jari-jari pori ( $\text{Å}$ ), dan daya serap atau adsorpsi ( $\text{ml/g}$ ) jauh lebih besar dibanding zeolit Tasikmalaya dan Bayah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa zeolit yang baik digunakan sebagai penukar kation adalah zeolit Lampung. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya akan dilakukan analisis penukar ion cesium menggunakan zeolit Lampung.

## V. DAFTAR PUSTAKA

1. S. AMINI, “Upaya Peningkatan Manfaat Zeolit sebagai Penukar Ion”, Seminar Zeolit II, Ikatan Zeolit Indonesia Cabang Jawa Barat, Bandung, 21 Agustus 2001.
2. ASTIANA SASTIONO, “Standardisasi Komoditas Zeolit untuk Pengendalian Mutu”, Jurusan Tanah Fakultas Pertanian IPB, 1999.
3. IKATAN ZEOLIT INDONESIA, Jurnal Zeolit Indonesia, Vol. 2, No.1, November 2003.
4. LAS, T., “Use of Natural Zeolite for Nuclear Waste Treatment”, PhD Thesis, Salford University, The United Kingdom, 1989.
5. EDAX DX 95, Manual Operation Alat XRF Merk Philips.
6. NOVA, Manual Operation Alat Surface Area Meter.
7. SETARAM, Manual Operation Alat TGDTADSC, France, 1992.
8. ANONIM, Analytical Chemistry Measurement for Thermal Analysis.
9. ANDERSON, R.L., “Practical Statistics of Analytical Chemist”, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.