

## PENGARUH SUHU PERAWATAN PADA BINDER ALKALI AKTIVASI ZEOLIT ALAM MALANG

**Bambang Ismuyanto<sup>1\*</sup>, A.S. Dwi Saptati N.H<sup>2</sup>, Sholichin<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl.Mayjen Haryono 167 Malang

<sup>3</sup>Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl.Mayjen Haryono 167 Malang

\*E-mail : bambangismu@ub.ac.id

### Abstrak

*Kelimpahan Zeolit alam Malang mencapai 23,4 juta ton dan komponen utamanya adalah mordenit. Zeolit ini difungsikan sebagai precursor geopolimer. Total kadar alkali 2,2% berat. Total kadar aluminosilikat 49,4 % berat. Total aluminosilikat dan oksida besi 65,1% berat dengan angka banding silikat terhadap aluminat sebesar 4,73. Kadar kalsium 24,7%berat. Pengecilan ukuran diperoleh rerata ukuran partikel zeolit 231,54  $\mu\text{m}$ . Pembentukan binder aktivasi alkali, diawali dengan mereaksikan partikel zeolite dengan activator basa sodium hidroksida 14M. Produk reaksi berupa luluhan dituang ke cetakan beton berukuran 5x5x5cm dan ditutup plastic untuk mengurangi evaporasi berlebih. Uji konsumsi lime dilakukan dengan mereaksikan zeolite dengan lime/Ca(OH)<sub>2</sub> pada suhu ambien dan suhu 80C begitu pula uji kuat tekan. Simpulan uji laboratorium adalah konsumsi lime suhu 80C lebih besar dibanding suhu ambien; berdampak positif pula bahwa kuat tekan pada suhu 80C lebih besar dibanding perawatan pada suhu ambien. Komponen silika pada zeolite lebih reaktif pada suhu 80C dibanding suhu ambien.*

**Kata kunci :** zeolit, konsumsi lime, binder aktivasi alkali, sodium hidroksida, kuat tekan

### 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi penting hingga saat ini utamanya ditinjau dari biaya. Akan tetapi di era sustainability menjadi penting dan prioritas khusus maka material pelengkap dan teknologi inovatif perlu dikembangkan dalam upaya memperbaiki kinerja beton terkait dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Beton aktivasi alkali(BAA/geopolimer) Dungan karakter kuat mekanik tinggi dan dampak lingkungan yang rendah adalah salah satu alternatif selain masih digunakannya beton semen Portland. Komposisi binder pada geopolimer sangat menentukan kinerjanya. Material yang sesuai untuk keperluan dimaksud adalah material kaya aluminosilikat yang diaktifasi logam alkali; meliputi slag tungku suhu tinggi, abu layang dan metakaolin. Zeolit alam merupakan material mikropori tersusun dari mineral aluminosilikat hidrat yang bertindak sebagai precursor geopolimer/aktivasi alkali geopolimer. Ditambahkannya zeolite alam ke beton semen berdampak positif pada kuat mekaniknya.

Suhu perawatan sangat mempengaruhi perkembangan kuat tekan BAA zeolite. Nikolov dkk (2020) melangsungkan kalsinasi zeolite alam pada 700-1000C untuk meningkatkan reaktivitasnya. BAA berbasis zeolite alam kalsinasi yang diaktifasi potassium silikat membuktikan kuat tekan yang tinggi yaitu 43 MPa jika suhu perawatan 80C 28 hari. Villa dkk(2010) melakukan penelitian BAA Dungan precursor zeolite alam Meksiko. Kseimpulan yang diperoleh adalah suhu perawatan dan komposisi activator sebagai penentu utama kuat tekan. Makin tinggi konsentrasi angka banding sodium silikat/sodium hidroksida dan suhu perawatan 40C, makin tinggi kuat tekan BAA zeolite. Akan tetapi pada suhu perawatan 80C justru ditandai Dungan efek negatif pada kuat tekan.

Dengan demikian maka penelitian ini hendak mempelajari kuat tekan zeolite alam tanpa perlakuan awal tetapi Dungan menggunakan activator tunggal sodium hidroksida grade teknis yang belum banyak dikaji. Kajian ini bertujuan untuk menambah knowledge gap tersebut.

### 2. METODOLOGI

Bongkahan zeolite alam diperlakukan menggunakan crusher agar diperoleh butiran berdiameter 10-30 mm; kemudian diumpankan ke ball mill sehingga akan didapat butir zeolite Dungan ukuran micrometer. Uji rerata diameter partikel dilangsungkan di piranti particle size analyzer. Uji komposisi oksida precursor memanfaatkan piranti X Ray Fluorescence. Uji SEM-EDX untuk megungkap morfologi permukaan produk geopolimer zeolit.

Uji konsumsi lime/Ca(OH)<sub>2</sub> dilakukan untuk menentukan derajat reaktivitas zeolite ketika direaksikan Dungan larutan kapur/lime. Sebagian sampel dirawat pada suhu ambien dan sebagian lagi dirawat di oven pada suhu 80C. Usai perawatan selama 48 jam, buburan produk reaksi zeolite-lime dituangkan ke kertas saring untuk memisahkan padatan dan cairan. Residu hasil penyaringan dikeringkan di oven pada suhu 110C selama 24 jam. Padatan kering dilakukan uji XRF untuk mendapatkan informasi komposisi silikat setelah direaksikan Dungan larutan kapur.

Bubuk zeolite diumpan ke oven pada suhu 110C selama 4 jam untuk menghilangkan uap air. Sejumlah tertentu massa zeolite kering dimasukkan ke gelas beaker dan dituangkan 40 ml larutan sodium hidroksida 14M. Diaduk hingga merata dan dipastikan semua bubuk zeolite sudah kontak Dungan larutan activator NaOH. Tuangkan ke cetakan baja berukuran 5x5x5cm dan upayakan memenuhi semua volume cetakan Dungan bantuan sendok kayu untuk meratakannya. Cetakan selanjutnya dibalut plastic ke seluruh permukaannya untuk mengurangi evaporasi air berlebihan ke udara. Sebagian simpan/rawat di ruangan pada suhu ambien, sebagian lagi diletakkan di ruangan suhu ambien dan dilanjutkan di oven pada suhu 80C. Pada hari ketiga semua cetakan dibongkar dan diperoleh sampel pasta BAA zeolite. Uji SEM dilangsungkan untuk memperoleh karakter mikroskopis permukaan pasta dan uji EDX untuk mendapatkan komposisi pasta.

Zeolite bersumber dari Malang selatan. Aktivator sodium hidroksida bersumber dari Cina Dungan kemurnian 95-98% grade teknis. Air demineralizer dipilih sebagai pelarut activator dan keperluan lain pada penelitian ini.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Uji ukuran partikel zeolit

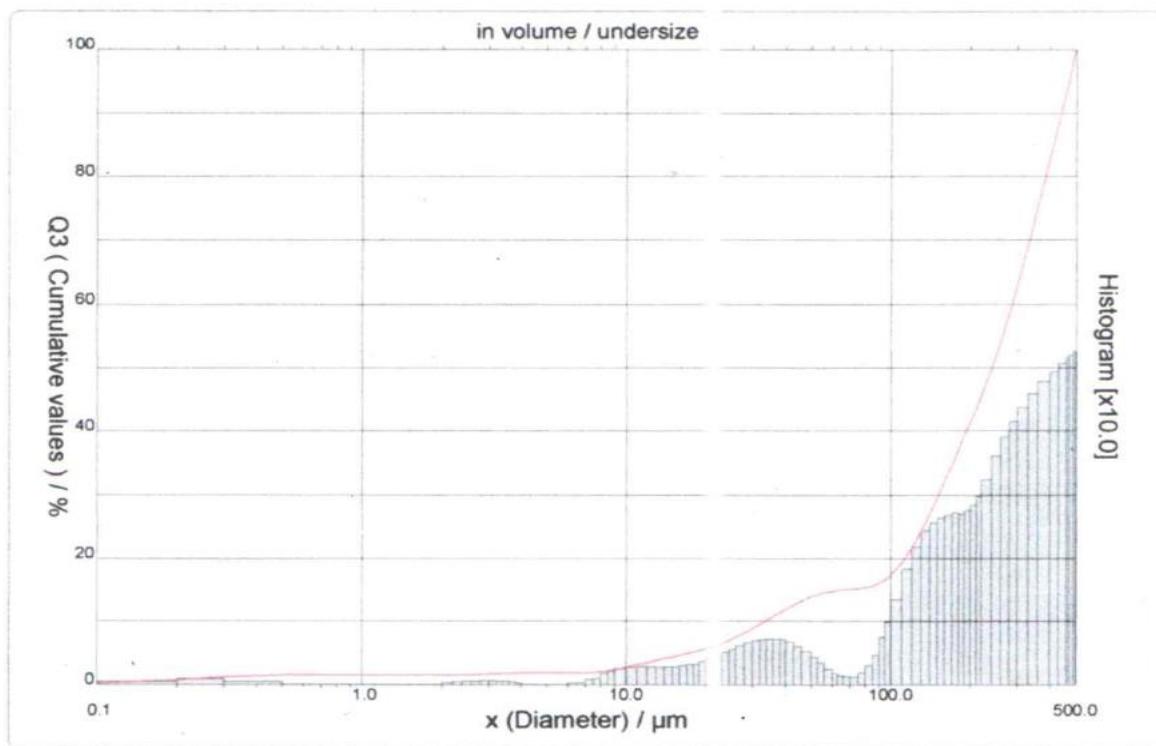
Ukuran partikel precursor BAA/geopolimer penentu bagi pengembangan kuat tekan BAA pasta zeolite; beberapa peneliti mengungkap bahwa makin kecil ukuran precursor maka makin sempurna kontak langsung antara precursor dan larutan activator. Akan tetapi masih terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi pengembangan kuat tekan pasta BAA yaitu suhu perawatan, jenis activator dan perlakuan awal precursor BAA/geopolimer. Grafik distribusi ukuran partikel bubuk zeolite disajikan di Gambar 1. Hasil uji PSA mengungkapkan bahwa rerata diameter partikel zeolit adalah 231,54  $\mu\text{m}$ .



## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10  $\mu\text{m}$  - 500.00  $\mu\text{m}$  / 100 Classes

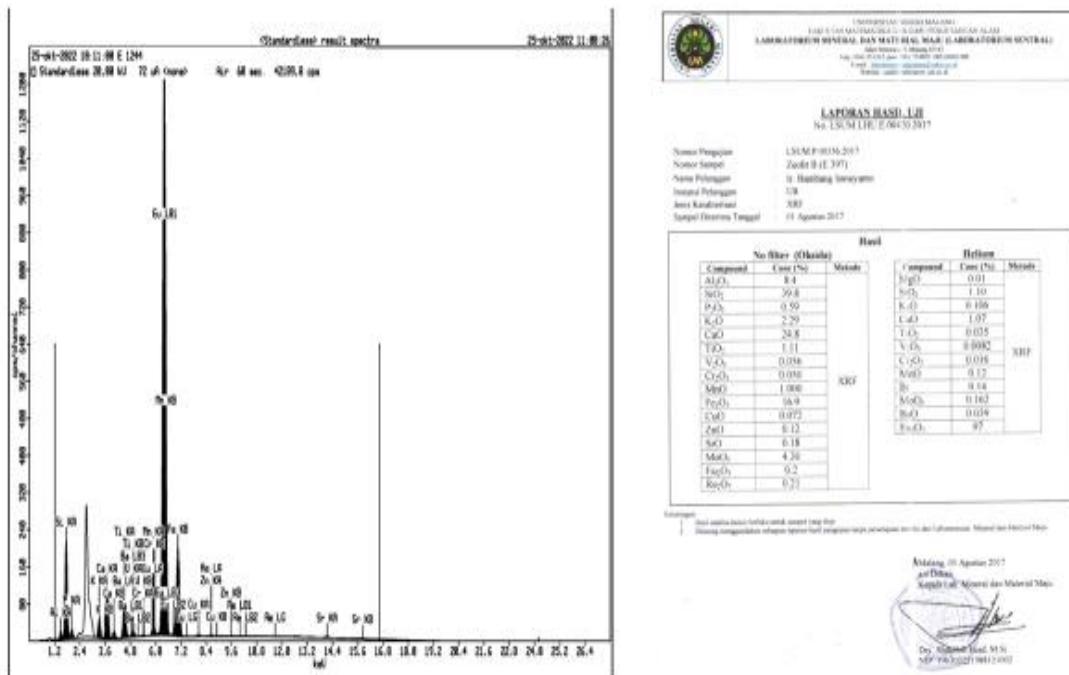
Sample ref.	: Sample_X_	Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]
Sample Name	: Zeolit_2.	Obscuration	: 1 %
Sample type	: SERBUK	Diameter at 10%	: 33.30 $\mu\text{m}$
Comments	:	Diameter at 50%	: 240.62 $\mu\text{m}$
-----	-----	Diameter at 90%	: 439.87 $\mu\text{m}$
-----	-----	Fraunhofer	-----
Operator	: BBG	Density/Factor	-----
Company	:	Specific surface	-----
Location	:	Meas./Rins.	: 15s/15s/0
Date : 11/07/2017	Time : 08:15:43	SOP name	: BBG
Index meas.	: 1141		
Database name	: CilasDB1		



Gambar 1. Grafik distribusi ukuran partikel zeolit

### 3.2. Uji XRF partikel zeolit

Spektra XRF bagi bubuk zeolit dideteksi menggunakan fluorescence sinar X Dungan komposisinya disajikan dalam bentuk konsentrasi yang dinyatakan prosen berat. Adapun hasil uji tertera di Gambar 2.

**Spektra XRF****Komposisi Oksida XRF**

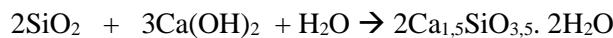
Gambar 2. Spektra dan komposisi oksida logam precursor zeolite.

Total  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  mencapai 65,1% dan menilik di ASTM C618-05, maka dapatlah disimpulkan bahwa mineral zeolit alam Malang Selatan ini masuk kategori pozolan alami kelas C Dungan angka banding silikat terhadap aluminat sebesar 4,73. Uji fluoresense sinar X (XRF) membuktikan bahwa kadar CaO pada mineral alam zeolit Malang mengandung oksida kalsium amat besar yaitu 24,8% berat (pozolan berkategori kadar kalsium tinggi). Kalsium tinggi pada mineral zeolit memungkinkan untuk bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) seperti pembentukan C-S-H pada semen Portland bila ditambahkan sejumlah molekul air. Kalsium silikat hidrat inilah penyebab terbentuknya kuat tekan terbesar di beton semen Portland. Bahkan dimungkinkan pula akan terbentuk gel Ca-Na-S-H pada reaksi geopolimerisasi zeolite.

**3.3. Uji Kosumsi Lime bagi zeolite**

Aktivitas pozolan mengacu pada kapasitas pengikatan lime yang mana berlangsungnya reaksi pengikatan berlangsung; Dungan demikian peristiwa tsb meliputi keseluruhan reaksi yang berlangsung diantara komponen aktiv pozolan (Walker dkk,2011). Reaktivitas suatu pozolan dipengaruhi oleh sifat kimia dan komposisi mineralogy, jenis dan proporsi fasa aktiv, luas permukaan spesifik, angka banding lime terhadap pozolan, kadar air, waktu dan suhu perawatan (Massazza,2007). Selain itu laju reaksi lime akan meningkat bila pada sistim terdapat sodium sulfat dan bahan kimia lain seperti kaksium klorida (Massaza,2002). Reaktivitas bahan semakin meningkat apabila luas spesifik bahan bertambah besar dan/atau makin kecilnya ukuran partikel bahan. Selain itu perlu pula diperhatikan bahwa struktur amorf bahan lebih reaktiv dibanding bahan yang lebih Kristal; hal ini disebabkan makin besarnya mobilitas dan lokasi superficial dari atom penyusun bahan. Pozolan glassy dengan jumlah fasa non reaktiv terbatas dikategorikan sebagai golongan mineral-mineral kristalin sangat aktiv dan sebaliknya Pozolan dikatakan lemah apabila mengandung sedikit fasa glassy yang berarti pula sedikit jumlah mineral kristalinya.

Ling dkk(2013) mencoba merumuskan reaksi pozolanic (reaksi pozzolan dengan lime/portlandite/Ca(OH)<sub>2</sub> pada sistem media air) yang digambarkan sebagai reaksi kimia (yang mungkin) antara silica dan lime (kalsium hidroksida) di sistem media air berikut,



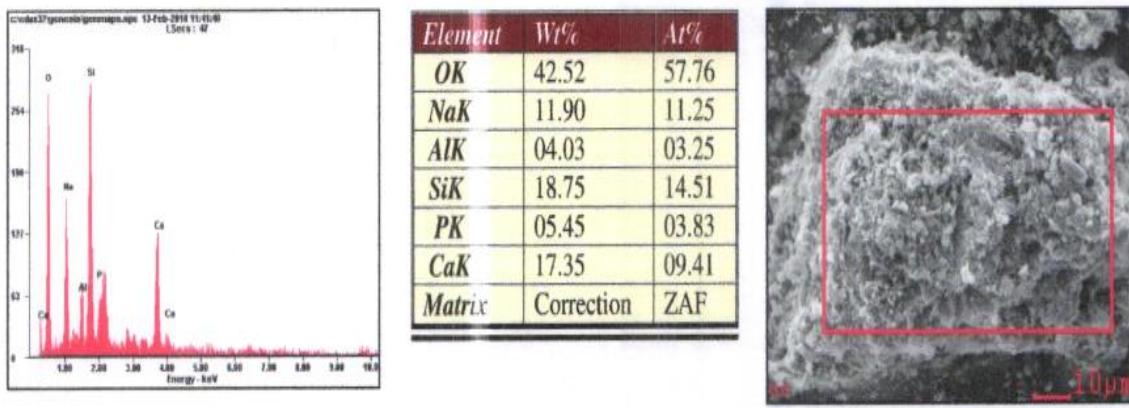
Berdasarkan persamaan reaksi tersebut dapatlah dipandang bahwa angka banding molar 2SiO<sub>2</sub> terhadap Ca(OH)<sub>2</sub> atau dinyatakan (angka banding S/C) membentuk gel CSH sekunder adalah 0,54054. Beberapa peneliti yakin bahwa dari pendekatan teoritis da berbasis pada reaksi kimia, maka angka banding berat molekul 2SiO<sub>2</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub> atau (S/C) pada gel CSH adalah spesifik dan didefinisikan sebagai “angka banding S/C optimum”. Data hasil percobaan pada skala laboratorium (reaksi Pozolan zeolite Malang dengan lime pada suhu ambien dan 80C) disajikan pada Gambar 3. Data XRF menunjukkan adanya perubahan pada semua unsur suhu ambien dan semua unsur pada suhu 80C. Data terpenting adalah unsur Si dan Fe yang dirangkum berikut :

No	Unsur	Suhu ambien	Suhu 80C
1	Si	17,5	15,4
2	Fe	12,9	10,6

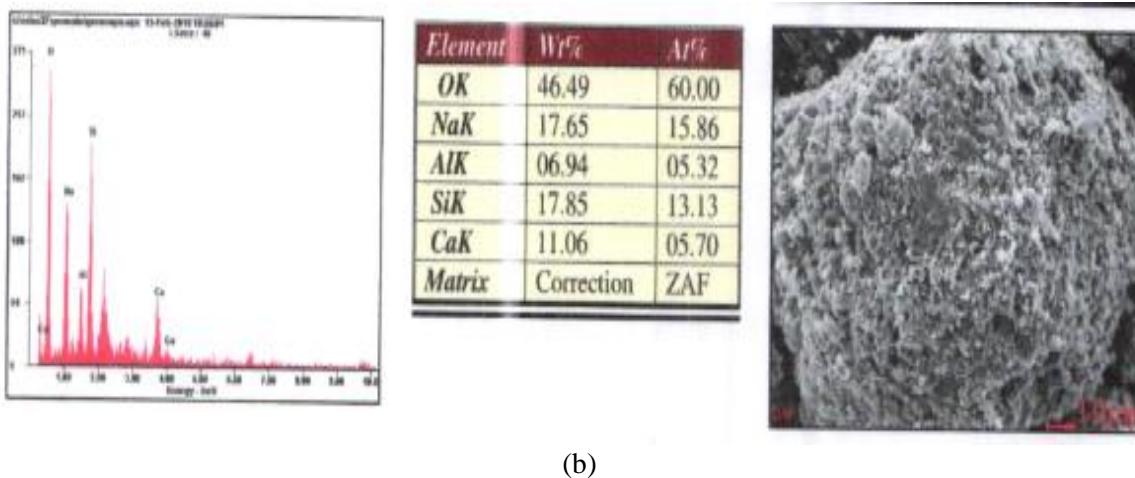
Hal ini membuktikan bahwa ada beberapa unsur yang bereaksi dengan lime (indikasi berlangsungnya reaksi pozolanik khususnya antara Si dan Ca(OH)<sub>2</sub>). Perbedaan Si direaksikan pd suhu ambien dan suhu 80C membuktikan bahwa Si bereaksi pada suhu 80C lebih banyak dibanding pada suhu ambien; berarti reaksi pada 80C lebih cepat dibanding reaksi pozolanik pada suhu ambien. Makin cepat habis massa Si mengartikan bahwa bahan precursor zeolite amat reaktif apabila direaksikan dengan lime. Pembuktian reaksi pozolanik ini juga serupa gejalanya jika diamati pada data SEM-EDX yang tertera di Gambar 4.

 <p>UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Telp. 0341-510121 (pew. 2901) / 0813-38516601/088 E-mail : labcentral@matematika.umsu.ac.id Website : central-laboratory.umsu.ac.id</p>	 <p>UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Jalan Semerang 3, Malang 65145 Telp. 0341-510121 (pew. 2901) / 0813-38516601/088 E-mail : labcentral@matematika.umsu.ac.id Website : central-laboratory.umsu.ac.id</p>																																																																										
<b>LAPORAN HASIL UJI</b> No. LSUM.LHU.E.01309.2018																																																																											
Nomor Pengujian : LSUM.P.0085/2018 Nomor Sampel : Ca(OH)2 . Zeolit 0.2.0.8 TR (E.1284) Nama Pelanggan : Ir Bambang Ismuyanto M.S. Instansi Pelanggan : UB Jenis Karakterisasi : XRF Sampel Diterima Tanggal : 10 Oktober 2018																																																																											
<b>Hasil</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compound</th> <th>Conc (%)</th> <th>Metode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Si</td><td>17,5</td><td rowspan="20">XRF</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>K</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>62,8</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>0,77</td></tr> <tr><td>V</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,061</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>0,58</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>12,9</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0,01</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>0,079</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>In</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>Eu</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Yb</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>Re</td><td>0,25</td></tr> </tbody> </table>	Compound	Conc (%)	Metode	Si	17,5	XRF	S	0,50	K	1,3	Ca	62,8	Ti	0,77	V	0,03	Cr	0,061	Mn	0,58	Fe	12,9	Ni	0,01	Cu	0,079	Sr	0,65	In	2,1	Ba	0,2	Eu	0,1	Yb	0,2	Re	0,25	<b>Hasil</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compound</th> <th>Conc (%)</th> <th>Metode</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al</td><td>3,3</td><td rowspan="20">XRF</td></tr> <tr><td>Si</td><td>15,4</td></tr> <tr><td>S</td><td>0,42</td></tr> <tr><td>K</td><td>0,58</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>65,3</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>V</td><td>0,02</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0,058</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>0,47</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>10,6</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>0,073</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>In</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Eu</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>Re</td><td>0,26</td></tr> </tbody> </table>	Compound	Conc (%)	Metode	Al	3,3	XRF	Si	15,4	S	0,42	K	0,58	Ca	65,3	Ti	0,65	V	0,02	Cr	0,058	Mn	0,47	Fe	10,6	Cu	0,073	Sr	0,40	In	2,2	Ba	0,1	Eu	0,2	Re	0,26
Compound	Conc (%)	Metode																																																																									
Si	17,5	XRF																																																																									
S	0,50																																																																										
K	1,3																																																																										
Ca	62,8																																																																										
Ti	0,77																																																																										
V	0,03																																																																										
Cr	0,061																																																																										
Mn	0,58																																																																										
Fe	12,9																																																																										
Ni	0,01																																																																										
Cu	0,079																																																																										
Sr	0,65																																																																										
In	2,1																																																																										
Ba	0,2																																																																										
Eu	0,1																																																																										
Yb	0,2																																																																										
Re	0,25																																																																										
Compound	Conc (%)		Metode																																																																								
Al	3,3		XRF																																																																								
Si	15,4																																																																										
S	0,42																																																																										
K	0,58																																																																										
Ca	65,3																																																																										
Ti	0,65																																																																										
V	0,02																																																																										
Cr	0,058																																																																										
Mn	0,47																																																																										
Fe	10,6																																																																										
Cu	0,073																																																																										
Sr	0,40																																																																										
In	2,2																																																																										
Ba	0,1																																																																										
Eu	0,2																																																																										
Re	0,26																																																																										
Keterangan : 1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang dulu 2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.																																																																											
Malang, 23 Oktober 2018 a.n Dekan Kepala Lab. Mineral dan Material Maju  Nanding Muji, S.Si, M.T, Ph.D NIP. 197208152005011001																																																																											
 Malang, 23 Oktober 2018 a.n Dekan Kepala Lab. Mineral dan Material Maju Nanding Muji, S.Si, M.T, Ph.D NIP. 197208152005011001																																																																											

Gambar 3. Komposisi uji konsumsi lime bagi zeolite pada suhu ambien dan 80C



(a)



Gambar 4. Foto SEM-EDX BAA zeolite activator NaOH 14M waktu perawatan 14 hari pada (a)suhu ambien dan (b)suhu 80C

### 3.4. Uji Kuat tekan BAA zeolite

BAA zeolite setelah melampaui waktu perawatan 14 hari pada suhu ambien maupun suhu 80C dilangsungkan uji kuat tekan dengan data berikut,

No	Unsur	Awal, %berat	Suhu Ambien		Suhu 80C	
			Si sisa, % berat	Kuat Tekan, MPa	Si sisa, % berat	Kuat Tekan, MPa
1	Silika, Si	18,6	17,5	3,49	15,4	11,51

Berdasar data tersebut, konsumsi lime untuk bereaksi dengan silica pada zeolite pada suhu 80C lebih besar (3,2% berat) dibanding jika direaksikan pada suhu ambien (1,1% berat). Uji konsumsi lime membuktikan bahwa pozolanic activity zeolite pada suhu 80C lebih reaktiv dibanding pada suhu ambien. Gejala ini tampak pula berlaku bagi kuat tekan yang diperoleh 11,51 MPa (suhu 80C) lebih besar dibanding pada suhu ambien (3,49 MPa).

### 4. KESIMPULAN

- reaksi pozolanik pada suhu 80C lebih cepat dibanding pada suhu ambien
- konsumsi lime pada reaksi pozolanik suhu 80C lebih besar dibanding konsumsi lime pada suhu Ambien
- kuat tekan BAA zeolite pada suhu 80C lebih besar dibanding dirawat pada suhu ambien

### DAFTAR PUSTAKA

- Ling, K., KA Kasim., ATA Karim., Reaction products of lime zeolite stabilized kaolin humic acid.,” Applied Mechanics and materials, vol.372, 88-96
- Massazza F, Pozzolana and pozzolanic cements. In: Hewlett PC (ed) Lea's chemistry of cement and concrete, 4th edn. Elsevier, UK, (2007), pp 471–602
- Massazza F (2002) Properties and applications of natural pozzolans. In: Bensted J, Barnes JP (eds) Structure and performance of cements. Spon Press, London (2002)
- Nikolov, H. Nugteren, I. Rostovsky, Optimization of geopolymers based on natural zeolite clinoptilolite by calcination and use of aluminate activators, Constr. Build. Mater. vol. 243 (2020), 118257.
- Villa, E.T. Pecina, R. Torres, L. Gomez, Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite, Constr. Build. Mater. vol. 24 (11) (2010) 2084–2090.
- Walker, R., S Pavia.,Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes, Materials and Structures (2011) 44:1139–1150