

POTENSI ZEOLIT ALAM ENDE SEBAGAI BAHAN ADITIF SEMEN UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON

Daniel Wolo¹, Yulius Dala Ngapa², Ludovicus Carvallo³

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan, Universitas Flores
Jl. Sam Ratulangi, Ende 86316, East Nusa Tenggara Indonesia

³ Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan, Universitas Flores,

Email: *dewolochem@gmail.com*

ABSTRAK

Zeolit merupakan suatu mineral anorganik yang memiliki struktur kerangka alumina-silikat dan sering terdapat di tanah vulkanik. Pulau Flores yang merupakan bagian dari cincin api pasifik memiliki kandungan zeolit yang cukup besar, khususnya di kabupaten Ende. Keberadaan zeolit alam ini belum sepenuhnya dimanfaatkan oleh pemerintah daerah, dikarenakan keterbatasan informasi kegunaan dari batuan zeolit serta keahlian untuk mengolahnya. Beberapa pemanfaatan zeolit anatara lain sebagai penukar kation, Pupuk dalam industri pertanian, bahan penyerap bau, sebagai katalis, sebagai bahan campuran beton. Zeolit dapat ditemukan pada batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi atau debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi. Di pulau Flores keberadaan Zeolit sejauh ini diketahui hanya terdapat di kabupaten Ende, lokasi endapan zeolit antara lain terdapat di Khekadado, Desa beremari, Aifua, Puugawa, Ondorea, Tendarea, Kecamatan Nangapenda, Rukurambe, Raporendu, Kecamatan Ende, Nabe dan Nggemo. Secara kuantitas keseluruhan kandungan zeolit alam di kabupaten Ende sebesar 6.115.000 ton, yang terbanyak terdapat di kecamatan Nangapanda sebesar 5.490.000 ton. Salah satu potensi kegunaan zeolit alam Ende adalah sebagai aditif semen. Kandungan mineral aluminat silikat pada zeolit merupakan salah satu faktor utama material ini digunakan sebagai aditif semen.

Kata Kunci; Zeolit, Ende, Aditif, Semen, Beton

PENDAHULUAN

Semen telah digunakan manusia selama ratusan untuk membangun berbagai bangunan seperti rumah jembatan, dermaga, jalan dan sebagainya. Penggunaan semen pertama kali dicatat pada jaman megalitik prasejarah yaitu strutur bangunan di Cyclopean yang terletak di Negara Yunani. Pada jaman ini batu andesit digunakan sebagai bahan dasar penyusun bangunan berbentuk kubah. Beberapa bangunan awal di Mesir kuno menggunakan sejenis batu bata yang sumbernya diambil dari daerah sekitar sungai Nil. Pada masa ini pembuatan batu bata proses pengeringan tidak dilakukan dengan cara dibakar melainkan dijemur seperti biasa. Hal ini menyebabkan batu bata yang dihasilkan tidak tahan air, meski begitu struktur bangunan ini masih bisa bertahan selama ratusan bahkan ribuan tahun. Peradaban disekitar Mesir seperti Peradaban Asyur, Assiria, Persia, Babilonia menggunakan batu bata yang dibakar dan sebagai bahan perekatnya digunakan material dari aspal. Penggunaan bahan perekat batuan semen dengan bahan dasar kapur pertama kali dilakukan oleh Bangsa Romawi. Keberadaan Gypsum melimpah di wilayah kekuasaan Romawi namun tidak dalam keadaan murni sehingga sebelum digunakan Gypsum akan dibakar terlebih dahulu. Penggunaan Gypsum ini bisa disebut sebagai awal

penggunaan semen secara modern yang prinsipnya masih sama dengan pembuatan dan penggunaan semen saat ini (Harold F.W. Taylor, 1990).

Salah satu jenis semen yang sering digunakan saat ini adalah semen jenis portland. Semen jenis ini terbuat dari hasil pemanasan pada suhu tinggi ($\sim 1450^{\circ}\text{C}$) campuran batu kapur dan tanah liat atau bahan lain dengan komposisi tertentu. Secara kandungan kimia, semen portland memiliki komposisi 67% CaO , 22% SiO_2 , 5% Al_2O_3 , 3% Fe_2O_3 dan 3% komponen lainnya (Takata et al, 2004). Pada suhu tinggi senyawa kimia ini akan membentuk senyawa baru dengan struktur atau fase tertentu yang disebut alit, belit, alumnat dan Ferit, beberapa yang ada dalam jumlah kecil seperti alkali sulfat dan kalsium oksida. Empat mineral utama yaitu alite (C_3S), belite (C_2S), aluminat (C_3A), dan ferrit (C_4AF). Alite atau trikalsium silikat (Ca_3SiO_5) sangat bereaksi cepat dengan air dan bertanggung jawab pada proses awal pengerasan selama 28 hari. Belite atau dikalsium silikat (Ca_2SiO_4) bereaksi sangat lambat dengan air dan kontribusi mineral ini adalah mempertahankan kekerasan setelah reaksi telah berlangsung selama 28 hari. Sedangkan Aluminat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) dan ferrite ($\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$) membantu proses mempercepat reaksi dengan air. Pada dasarnya pembuatan mortar melibatkan beberapa bahan utama yaitu semen, air, agregat halus, dan bahan tambah (bahan kimia dan mineral). Setiap bahan memiliki karakteristik yang berbeda ketika digunakan sebagai bahan adukan dalam *concrete*. Jenis semen yang digunakan juga akan mempengaruhi kualitas beton atau *concrete* yang dihasilkan (Harold F.W. Taylor, 1990).

Penggunaan bahan tambah kimia pada semen (*admixture to concrete/ cement additives*) dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas beton. Bahan kimia tersebut dapat ditambahkan pada saat sebelum dan selama pengerjaan beton. Aditif semen tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya sebagai berikut : (1) *Water-Reducing Admixtures*, adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Bahan tambah ini biasa disebut water reducer atau plasticizer. Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia melamin formaldehid sulfonat, lignosulfonat, polikarboksilat. (2) *Retarding admixtures*, bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini diperlukan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran/pengadukan beton dengan penuangan adukan. Atau dimana jarak antara tempat pengadukan betondan tempat penuangan adukan cukup jauh. Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia lignin, boraks, asam tartat dan garam. (3) *air-entraining admixtures*, bahan kimia untuk menstabilkan gelembung udara mikroskopik dalam beton, aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia garam resin kayu (vinsol resin), detergen, garam lignin sulfonat, garam asam petroleum, garam protein, lemak dan beberapa resin asam serta garam, Alkyl Benzen Sulfonat, dan garam Hidrokarbon Sulfonat. (4) *Accelerating admixtures*, adalah bahan kimia yang digunakan untuk mempercepat laju hidrasi dan pengembangan beton pada waktu awal, Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia Kalsium Klorida, Trietanolamina, Kalsium Nitrit, Kalsium Nitrat. (5) *Hydration-control admixtures*, bahan kimia untuk mengontrol (menunda) proses hidrasi dalam rentang waktu 72 jam, bahan ini ditambahkan sebelum beton digunakan, Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia asam karboksilat, fosfor yang terkandung dalam garam asam organik. (6) *Corrosion inhibitors*, digunakan pada beton untuk struktur bangun pada air laut (contoh : jembatan dermaga) dimana kondisi lingkungan mengandung garam klorida, Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia kalsium nitrat, natrium nitrat, natrium benzoat, kadang terdapat kandungan fosfat dan ester amina. (7) *shrinkage reducers*, bahan kimia yang digunakan untuk meminimalkan retakan alsannya lebih pada untuk keindahan bentuk benton. (8) *Alkali-silica reactivity inhibitors*, digunakan untuk mengontrol reaktivitas reaksi alkali-silika, Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia Garam Barium,

Litium Nitrat, Litium Karbonat, Litium Hidroksida. (9) *Coloring Admixtures*, bahan kimia untuk pembuatan beton berwarna, Aditif semen ini biasanya mengandung bahan kimia karbon hitam, Besi Oksida, Krom Oksida, Titanium Oksida dan Kobalt Biru. (10) *Miscellaneous Admixtures*, bahan kimia yang digunakan untuk mempermudah pengerjaan (*workability*), tahan kelembapan, mencegah pembentukan gas, dan mengurangi sifat permeabilitas beton (Lea, 2004).

Zeolit juga dapat bersifat sebagai aditif semen yang berfungsi untuk meningkatkan kuat tekan beton dari campuran mortar yang dihasilkan (Frontera et al, 2006). Rasio antara volume air dengan massa semen dan zeolit juga diketahui sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dari Mortar yang dihasilkan (Carlos et al 2014; Kiliçarslan et al 2011). Selain itu dengan menambahkan material zeolit pada reaksi pozolanik dapat meningkatkan laju reaksi, laju reaksi ini dikendalikan oleh beberapa faktor seperti ukuran partikel pozolan, jenis ion yang terkandung pada pozolan, sehingga yang memegang peranan penting pada reaksi sementasi adalah gugus aktif dari silika dan alumina, zeolit alam dengan rasio Si/Al yang tinggi dapat meningkatkan reaksi pozolanik pada proses sementasi (Daskiran & Daskiran, 2015; Tanijaya & Hardjito, 2008) .

METODELOGI

Bahan-bahan penelitian yang digunakan

Zeolit Alam Klaten, Semen Portland (PT. Semen Gresik Tbk) TIPE III, Aditive semen (Prima Pool Tbk), Aquades (Laboratorium Kimia Dasar, Jurusan Kimia, FMIPA UGM)

Peralatan yang digunakan

Alat-alat gelas, Cetakan Mortar, Neraca Analitik (jurusan kimia, FMIPA UGM), Difraktometer sinar-X Shimadzu XRD-6000 (jurusan kimia, FMIPA UGM), Material testing machine (laboratorium uji material, FTP UGM)

Pembuatan Mortar Semen-Zeolit alam

Sebanyak 10 gram zeolit alam direaksikan dengan 10 gram semen portland dalam 14 mL aquades kemudian diaduk menggunakan spatula sampai kedua bahan dianggap telah bereaksi semua. Lama pengadukan sekitar 5 menit. Setelah itu hasil reaksi dimasukkan kedalam cetakan dan dibiarkan sampai mengering dalam kondisi kamar selama 24 jam. Setelah kering, hasil cetakan kemudian dikeluarkan lalu dianginkan lagi agar Mortar benar-benar kering. Mortar yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD serta uji kuat tekan mortar.

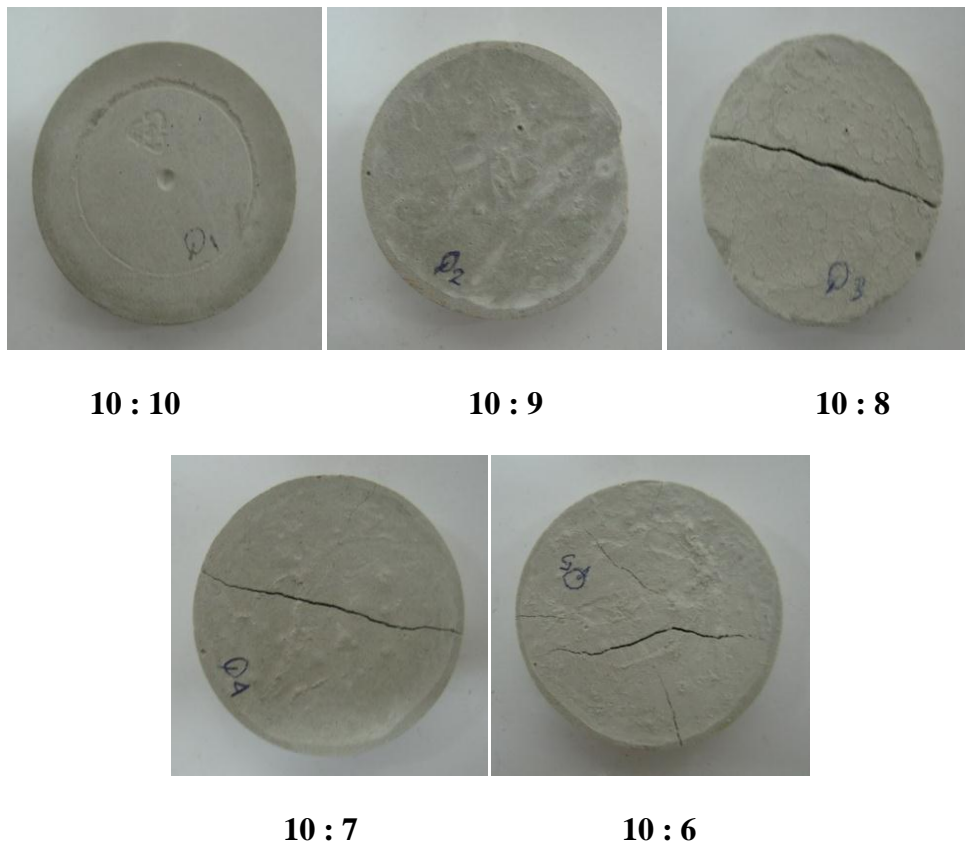
HASIL DAN DISKUSI

Dalam rangka mendapatkan kuat tekan yang baik pada *concrete* maka dilakukan variasi jumlah semen portland. Hasil percobaan variasi jumlah semen portland ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh jumlah massa semen portland yang digunakan pada kekuatan *mortar*

massa zeolit (gram)	massa Semen Portland (gram)	kondisi
10	10	Kuat
10	9	kuat/retak
10	8	retak
10	7	rapuh
10	6	rapuh

Dari hasil pengamatan fisik mortar yang dihasilkan, apabila jumlah semen portland semakin sedikit maka kekuatan mortar akan berkurang sehingga menyebabkan mortar retak dan rapuh seperti pada gambar yang ditampilkan.



Gambar 1. Kondisi fisik dari mortar semen-zeolit yang dibuat dengan memvariasikan jumlah semen portland.

Kondisi rapuh dan retak pada mortar dikarenakan jumlah semen portland yang tidak cukup untuk mengikat partikel Zeolit Alam. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh Terbentuknya Kalsium Silikat Hidrat (CSH) selama proses hidrasi semen. Jumlah CSH yang terbentuk sangat bergantung pada jumlah semen yang digunakan.

Semen portland memiliki kemampuan untuk menyatukan fragmen-fragmen atau massa dari suatu padatan untuk membentuk suatu kesatuan yang tersusun secara kompak. Padatan yang digunakan pada penelitian ini dan juga berfungsi sebagai *filler* adalah zeolit alam.

➤ **Kekerasan (Compressive strength) pengaruh variasi ukuran partikel Zeolit**

Pada penelitian ini ukuran partikel yang digunakan adalah 80, 200, dan 400 mesh. Masing-masing zeolit dengan ukuran yang berbeda dijadikan sebagai bahan pengisi (*filler*) yang dicampur dengan semen portland rasio 1:1 untuk membentuk Mortar. Hasil uji kuat tekan ditampilkan pada tabel berikut :

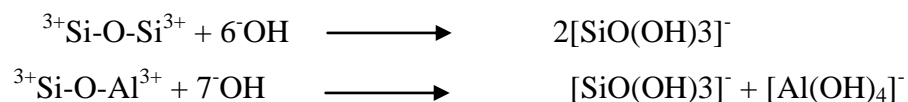
Tabel 2. Pengaruh ukuran partikel yang digunakan pada sintesis Mortar terhadap kuat tekan Mortar

ukuran partikel (mesh)	compressive strength (N)
80	61.98
200	50,84
400	40.65

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa variasi ukuran partikel zeolit memberikan hasil yang berbeda pada kekerasan mortar. semakin besar ukuran partikel maka kekerasan mortar juga meningkat. Hal ini disebabkan karena partikel zeolit yang berukuran besar, lapisan CSH yang mengikat antar partikel lebih tebal dibandingkan pada partikel yang berukuran kecil, hal ini mengindikasikan banyaknya CSH yang terbentuk sehingga kuat tekan dari pada mortar akan meningkat.

Pengaruh dari ukuran partikel ini menunjukkan bahwa zeolit selain sebagai *filler* juga merupakan bahan yang bersifat sebagai aditif pada proses reaksi sementasi (Nagrokiene & Girskas, 2016) dimana salah satu fungsi bahan aditif semen adalah untuk meningkatkan kuat tekan dari hasil sementasi. Taylor (1997) menyatakan bahwa ukuran dari bahan aditif semen yang digunakan pada proses sementasi sangat mempengaruhi kuat tekan dari Mortar yang dihasilkan.

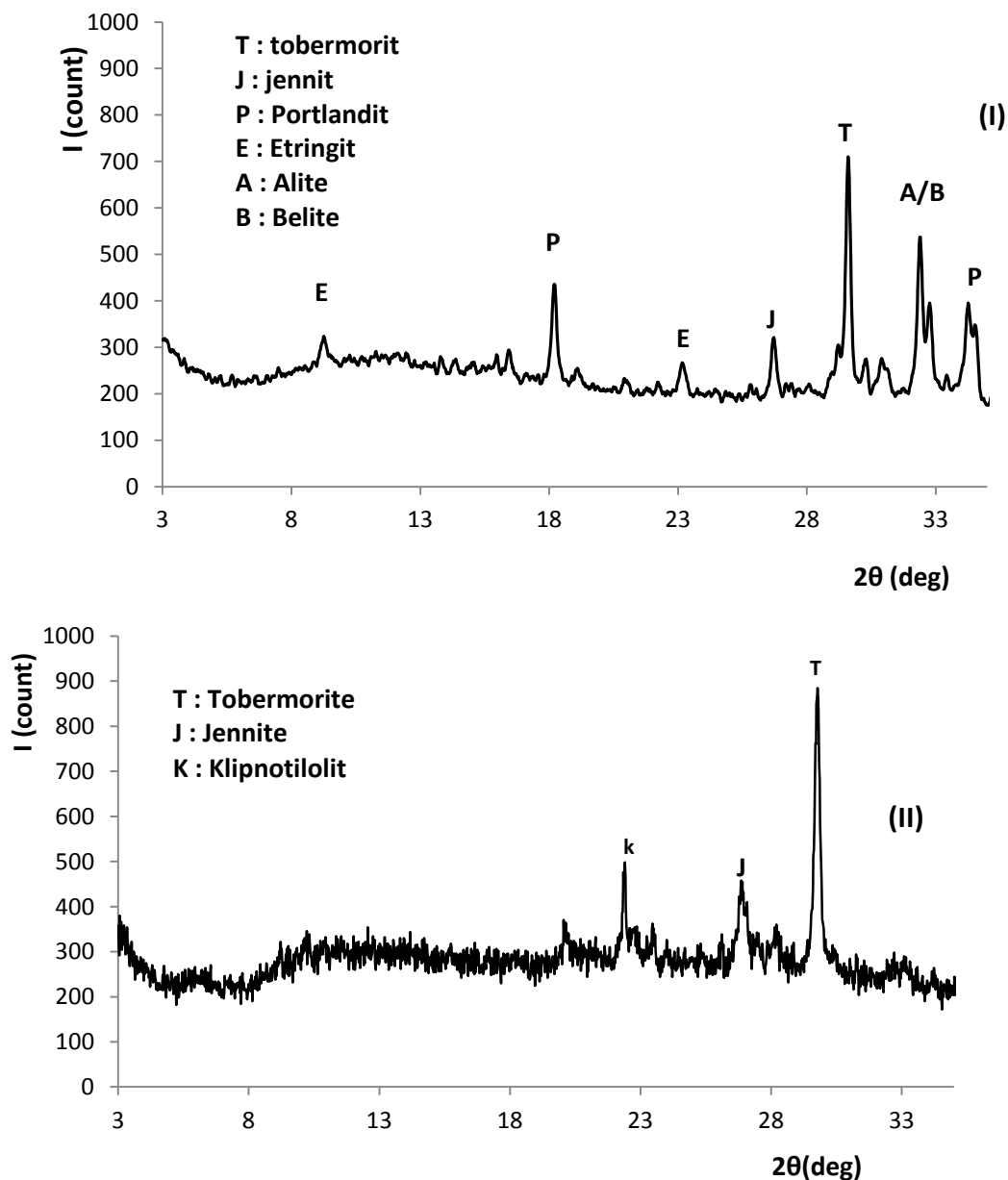
Reaksi pozolanik yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika semen bereaksi dengan air untuk membentuk pasta semen terbentuk tiga komponen dasar yaitu kalsium Silikat Hidrat atau CSH (tobermorit), portlandit atau CH, dan Kalsium trisulfat/monosulfat (Etringgit). Senyawa CH atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan mengalami hidrolisis dan kemudian kemudian bereaksi dengan zeolit yang mengandung aluminat dan silikat. Kerangka aluminat silikat pada zeolit akan mengalami depolimerisasi akibat adanya serangan molekul OH^- (dari hasil hidrolisis CH). Mekasnime rekasi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut :



Ketika ion Ca^{2+} bereaksi dengan aluminat dan silikat maka akan terbentuk CSH dengan mekanisme reaksi yang sama pada saat pembentukan CSH dari C_3S , C_2S , dan C_3A (Sujjavanich et al, 2017).

Hal ini menunjukkan bahwa zeolit selain berfungsi sebagai filler pada pembuatan Mortar mortar, ternyata dapat bersifat sebagai bahan pozolan yang mana dengan kehadirannya dapat meningkatkan kuat tekan dari Mortar.

Untuk mengetahui mineral yang terkandung dalam Mortar serta deteksi hasil agregasi antara semen portland dengan zeolit alam dilakukan karakterisasi dengan XRD. ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar V.6. Difraktogram Pasta Semen Portland (I) sebagai pembandingan, dan Mortar semen-zeolit (II)

Pada pola difraksi sinar-x Mortar zeolit-semen tampak beberapa puncak baru yang memiliki intensitas yang tinggi namun tidak terdapat pada zeolit alam dan semen portland. Puncak-puncak tersebut terdapat pada $2\theta : 26,86^\circ$ ($3,314 \text{ \AA}$), dan $29,78^\circ$ ($3,001 \text{ \AA}$). Puncak pada $29,78^\circ$ mengindikasikan keberadaan mineral tobermorit yang sesuai dengan d standar tobermorit yaitu pada $d = 3,001 \text{ \AA}$ (JCPDS 19-1364). Puncak pada $2\theta = 26,86^\circ$ ($d = 3,314 \text{ \AA}$) mengindikasikan adanya mineral jennit yang sesuai dengan d standar jennit yaitu pada $d = 3,29 \text{ \AA}$ (JCPDS 18-1206). Sementara terjadi penurunan intensitas untuk puncak-puncak yang mengindikasikan keberadaan filler kecuali pada $2\theta : 22,40^\circ$ ($d = 3,972 \text{ \AA}$) mengindikasikan keberadaan klinoptilolit yang sesuai dengan d standar klinoptilolit yaitu pada $d = 3,952 \text{ \AA}$ (JCPDS 25-1349).

Agregasi antara semen dengan zeolit alam tidak banyak mengubah karakteristik dari zeolit alam. Hal ini ditunjukkan dengan terdapatnya puncak klipnotilolit pada hasil XRD Mortar mortar. Sementara terjadi perubahan fasa dari mineral yang terkandung dalam semen Portland ditunjukkan dengan meningkatnya intensitas dari Tobermorit, jenit dan etringit. Kemunculan puncak tobermorite dan jenit kemungkinan juga disebabkan reaksi antara *Portlandit* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan zeolit alam (Tran et al, 2019). Reaksi ini juga ditandai dengan hilangnya puncak portlandit pada difraktogram Mortar mortar semen-zeolit (dibandingkan dengan gambar difraktogram semen pasta) .

KESIMPULAN

Kandungan mineral Zeolit Alam di Kabupaten Ende memiliki potensi sebagai bahan aditif semen. Zeolit alam pada komposisi dan ukuran tertentu akan meningkatkan kuat tekan mortar. Reaksi yang antara zeolit dan semen terjadi ketika senyawa CH atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mengalami hidrolisis dan kemudian bereaksi dengan zeolit yang mengandung aluminat dan silikat. Ketika ion Ca^{2+} bereaksi dengan aluminat dan silikat maka akan terbentuk CSH dengan mekanisme reaksi yang sama pada saat pembentukan CSH dari C_3S , C_2S , dan C_3A .

SARAN

Perlu ada penelitian lanjutan dimana zeolit yang akan digunakan perlu diaktivasi tidak hanya secara fisika tetapi secara kimia, dimana pada aktivasi kimia akan membersihkan pengotor seperti ion-ion dan senyawa organik yang terkandung ada zeolit alam.

REFERENSI

- Carlos, J., Cruz, D., María, J., & Colorado, D. (2014). A Much Better Concrete with Zeolite Additions- State of the Art Review. <https://doi.org/10.15242/iie.e0514558>
- Daskiran, E. G., & Daskiran, M. M. (2015). Effectiveness of Natural Zeolite in Mitigating Alkali Silica Reaction Expansions, 9(9), 1131–1134.
- Frontera, P., Marchese, S., Crea, F., Aiello, R., & Nagy, J. B. (2006). The strength effects of synthetic zeolites on properties of high performance concrete. *WIT Transactions on the Built Environment*, 85, 449–458. <https://doi.org/10.2495/HPSM06044>
- Harold F.W. Taylor. (1990). *Cement Chemistry. Chemistry for Engineers*. London: ACADEMIC PRESS LIMITED. https://doi.org/10.1142/9781860949982_0010
- Kilinçarslan, Ş. (2011). The effect of zeolite amount on the physical and mechanical properties of concrete. *International Journal of Physical Sciences*, 6(13), 3041–3046. <https://doi.org/10.5897/IJPS10.164>
- Lea, F. (2004). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete by Peter Hewlett. Science* (Vol. 58). <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6256-7.50031-X>
- Nagrockiene, D., & Girskas, G. (2016). Research into the properties of concrete modified with natural zeolite addition. *Construction and Building Materials*, 113, 964–969. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.133>
- Sujjavanich, S., Wongtanarasarin, C., & Kongkachuichay, P. (2017). Effect of synthetic and natural zeolite on ASR expansion. *Engineering Journal*, 21(2), 269–278. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.2.269>
- Takata, R., Sato, S., Nonaka, T., Ogata, H., & Hattori, K. (2004). Investigation on Alkali-Silica Reaction Utilizing Waste Glass in Concrete and Suppression Effect By Natural Investigation on Alkali-Silica Reaction Utilizing Waste Glass in Concrete. *29th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES*, 523–528.

- Tanjaya, J., & Hardjito, D. (2008). Experimental study on the use of natural zeolites as partial replacement for cement in concrete. *EASEC-11 - Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, 1–5.
- Tran, Y. T., Lee, J., Kumar, P., Kim, K. H., & Lee, S. S. (2019). Natural zeolite and its application in concrete composite production. *Composites Part B: Engineering*, 165, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.084>