

Analisa Pengaruh Penambahan Variasi Bubuk Andesit Terhadap Karakteristik Kuat Tekan Mortar

Herullah^{(1)*}, Pulung Karo Karo⁽¹⁾, Yayat Iman Supriyatna⁽²⁾, Muhammad Amin⁽²⁾

⁽¹⁾Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung Bandar Lampung 35145

⁽²⁾Lembaga Ilmu Pengatahuan Indonesia (LIPI) – Lampung Selatan

*E-mail koresponden: herullah.06@gmail.com

Diterima (7 Agustus 2017), Direvisi (24 Agustus 2017)

Abstract. The effect of andesit powder addition variety on the properties of the mortar compressive strength was carried out. This study aims to investigate the effect of andesit powder addition variety on the properties of mortar compressive strength which is added on mortar blend by comparing mortar without the addition of andesit powder. Mortar with various andesit powder contents (10, 20, 30, 40 and 50 % by weight respectively) as partial replacement of portland cement at the age of 7, 14 and 28 days curing. The results show that the compressive strength of each ages with andesit powder addition is higher than mortar without the addition of andesit powder. The highest compressive strength are 11.8, 14.3 and 17.4 MPa with andesit powder respectively and 5.6, 7.56 and 11.00 MPa regarding to the mortar without andesit powder. Therefore 30% seems to be the optimal as partial replacement cement level. The results show with decreasing porosity on the mortar, the density will be greater and solid, it will decrease the absorption. The results of X-Ray fluorescence indicate that the chemical element of Si, Al and Fe increase with increasing the dosage of andesit powder which is added on mortar blend. Consequently the Ca element may decrease by addition of andesit powder on mortar endlessly. The X-Ray Diffraction shows the coesite and hematite phase after temperature 900 °C calcination.

Keywords: compressive strength, andesit powder, porosity and curing time.

Abstrak. Telah dilakukan penelitian mengenai analisa pengaruh penambahan variasi bubuk andesit terhadap karakteristik kuat tekan mortar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bubuk andesit terhadap sifat dan kekuatan mortar yang ditambahkan dalam campuran mortar dengan membandingkan mortar tanpa penambahan bubuk andesit. Komposisi variasi bubuk andesit yang ditambahkan yaitu berturut-turut 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari berat semen. Lama perendaman 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar pada masing-masing umur benda uji dengan penambahan bubuk andesit lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar tanpa penambahan bubuk andesit. Kuat tekan tertinggi pada penambahan bubuk andesit waktu perendaman 7, 14 dan 28 hari berturut-turut yaitu sebesar 11,8MPa, 14,3MPa dan 17,4MPa. Nilai kuat tekan mortar tanpa penambahan bubuk andesit yaitu sebesar 5,6MPa, 7,56MPa dan 12,6MPa. Kadar optimum penambahan bubuk andesit sebesar 30% dari berat semen. Hasil menunjukkan semakin berkurangnya porositas yang terbentuk pada mortar, maka densitas mortar akan semakin tinggi dan semakin padat, dimana semakin padatnya mortar yang dibuat, maka tingkat absorpsi yang dihasilkan semakin kecil. Hasil pengujian karakterisasi X-Ray Fluorescence menunjukkan, kadar unsur kimia Si, Al, Fe meningkat seiring dengan bertambahnya persentase bubuk andesit yang ditambahkan pada campuran mortar, sedangkan kadar unsur Ca semakin menurun seiring bertambahnya persentase bubuk andesit yang ditambahkan pada campuran mortar. Hasil X-Ray Diffraction memperlihatkan fasa coesite dan hematite setelah kalsinasi suhu 900 °C.

Kata kunci : Kuat tekan, bubuk andesit, porositas dan umur uji.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin maju dan semakin pesat terutama dalam hal perkembangan dunia material. Kualitas

dan mutu material sangat diperlukan untuk meningkatkan mutu dan kualitas beton. Setiap pekerjaan beton ada prosedur yang harus dilaksanakan baik dari segi kekuatan maupun untuk pengerjaannya yang akan

dipakai dalam suatu proyek pembangunan. Konstruksi bangunan yang berkualitas memerlukan material yang ringan dan mudah untuk dikerjakan sehingga sangat efektif untuk diterapkan dalam industri bangunan salah satunya adalah pembuatan beton ringan atau mortar. Beton ringan banyak dipilih dalam pekerjaan konstruksi karena mudah dibentuk serta beratnya yang ringan sehingga memudahkan dalam instalasinya.

Mortar merupakan suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus dan air, baik dalam keadaan dikeraskan ataupun tidak dikeraskan yang berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Dalam pembuatan mortar biasanya banyak sekali bahan yang digunakan salah satunya adalah material yang kuat dan tahan terhadap suhu tinggi, seperti batuan andesit karena memiliki unsur dan komposisi kimia yang melimpah.

Batuan Andesit memiliki kandungan silikat (SiO_2) yang cukup tinggi dan bersifat pozzolan sehingga dapat digolongkan sebagai bahan tambahan mineral (*mineral admixture*) yang mampu meningkatkan mutu campuran. Saat ini batuan andesit dijadikan sebagai bahan agregat untuk sektor konstruksi terutama infrastruktur seperti sarana jalan raya, jembatan, gedung-gedung, irigasi, maupun perumahan dan fasilitas umum lainnya.

Pozzolan merupakan material yang mampu bereaksi dengan kapur dalam suhu ruang untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat seperti semen yaitu $3\text{CaSiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ [1]. Beberapa bahan mineral yang memiliki sifat pozzolan diantaranya adalah *silica fume*, *fly ash*, basalt, andesit, feldspar dan bahan-bahan yang terbentuk dari aktifitas gunung berapi hasil proses vulkanisme alam sebagai bahan pengisi (*filler* atau *replacement*) [2,3]. Bahan mineral tambahan secara luas digunakan dalam aplikasi beton untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik yang mampu

memberikan kuat tekan yang lebih terhadap mortar ataupun beton itu sendiri serta mengurangi terjadinya porositas yang terjadi dalam beton dan mortar [4].

Literatur ilmiah telah mencatat sejumlah penelitian tentang pengaruh penggunaan bahan mineral alam sebagai pengganti sebagian semen dalam proses pembuatan mortar ataupun beton. Telah dilaporkan pengaruh bubuk basalt [5,6], bubuk batu kapur [7,8] dan bahan mineral *fly ash* terhadap kuat tekan mortar. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan mineral yang baik untuk meningkatkan kekuatan beton itu sendiri dibandingkan mortar tanpa penambahan bahan mineral [4].

Binici [9] melakukan penelitian untuk mengetahui perbedaan kuat tekan yang dihasilkan pada umur uji 7 dan 28 hari antara mortar atau beton tanpa penambahan bubuk basalt dengan mortar dengan penambahan bubuk basalt dengan variasi yang berbeda, hasil yang diperoleh kuat tekan yang dihasilkan mortar dengan penambahan bubuk basalt memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mortar normal atau tanpa penambahan bubuk basalt.

Pada penelitian ini diteliti pengaruh persentase penggunaan bahan mineral bubuk andesit terhadap kuat tekan mortar dengan membandingkan kuat tekan mortar tanpa bahan tambahan dan mortar dengan penambahan bubuk andesit. Benda uji yang digunakan adalah kubus dengan ukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, dimana pengujian dilakukan pada variasi penambahan bubuk andesit 10%; 20 %; 30 %; 40 %; 50 % dari berat semen dengan umur uji yaitu 7, 14, dan 28 hari, selain itu akan dilakukan pula uji fisis meliputi porositas, densitas dan absorpsi, pada mortar yang diuji. Sampel mortar yang telah dilakukan uji kuat tekan akan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk menganalisis unsur yang terkandung pada mortar dan X-

Ray Diffraction untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada bubuk andesit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan preparasi batu andesit untuk mendapatkan bubuk andesit sebagai bahan baku dalam pembuatan mortar. Batu andesit dihaluskan menggunakan mesin ball mill selama 12 jam. Bahan yang sudah di milling selanjutnya diayak menggunakan ayakan 45µm untuk mendapatkan bahan yang lebih halus. Kemudian bubuk andesit di kalsinasi pada suhu 900 °C selama 9 jam. bubuk andesit kemudian dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada bubuk andesit sebelum dan sesudah kalsinasi.

Bubuk andesit dicampurkan pada komposisi pembuatan mortar dengan perbandingan 4:1 (pasir : semen) berdasarkan SNI. 03-6825, 2002 dengan persentase masing-masing komposisi bubuk andesit yaitu 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% (masing-masing komposisi dibuat 3 benda uji) dari berat semen seperti pada **Gambar 1**.

Kemudian bahan-bahan yang sudah disiapkan diaduk menggunakan mixer selama 2 menit dan dicetakan kedalam cetakan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm dan dibiarkan selama 48 jam dalam suhu ruang. Selanjutnya mortar diangkat dari cetakan dan direndam dalam bak berisi air dengan umur perendaman yaitu 7, 14 dan 28 hari. Kemudian dilakukan pengujian mekanik berdasarkan umur uji yang sudah ditentukan. Setelah itu, pada umur 28 hari dilakukan uji fisis dan analisa X-Ray Flourescene untuk mengetahui pengaruh penambahan bubuk andesit terhadap sifat mortar dan kandungan Si, Fe, Al dan Ca untuk mengetahui pengaruh unsur kima pada mortar dengan penambahan bubuk andesit.

Perhitungan rumus kuat tekan mortar:

$$F = \frac{P}{A} \tag{1}$$



(a) (b)

Gambar 1. (a) Pengujian kuat tekan mortar (b) Sampel mortar dengan variasi komposisi bubuk andesit

Dimana, F = Kuat tekan mortar (MPa), P = Beban maksimum (N), A = Luas penampang benda uji (cm).

$$Porositas = \frac{w_3 - w_2}{w_3 - w_1} \times 100\% \tag{2}$$

Dimana, w_3 = berat yang direndam dalam air (gram), w_1 = berat awal/ kering (gram), w_2 = berat setelah di lap dengan kain (gram).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian awal ini, pengujian kuat tekan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kadar bubuk andesit optimum terhadap semen. Benda uji dibuat 45 sampel untuk 7 hari, 14 hari, dan 28 hari yang memiliki perbedaan komposisi bubuk andesit dengan nilai 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dengan masing-masing sampel 3 benda uji, sedangkan mortar normal berjumlah satu buah benda uji untuk setiap pengujian masing-masing umur. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan pada masing-masing umur benda uji. Proses pengujian benda uji (berupa kubus dengan ukuran 5cm × 5 cm × 5 cm) dipasang pada mesin tekan secara sentris. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur

dan tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan (jarum penunjuk berhenti kemudian bergerak turun), sehingga didapatkan beban maksimum yang ditahan oleh benda uji tersebut. Uji kuat tekan mortar dilaksanakan setelah mortar mengalami perawatan (*Curing*) pada masing-masing umur yang telah ditentukan, kemudian menghitung kuat tekan mortar besarnya beban persatuan luas ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1** dapat dilihat grafik perbandingan kuat tekan rata-rata mortar dengan penambahan variasi bubuk andesit pada masing-masing umur uji pada **Gambar 2**.

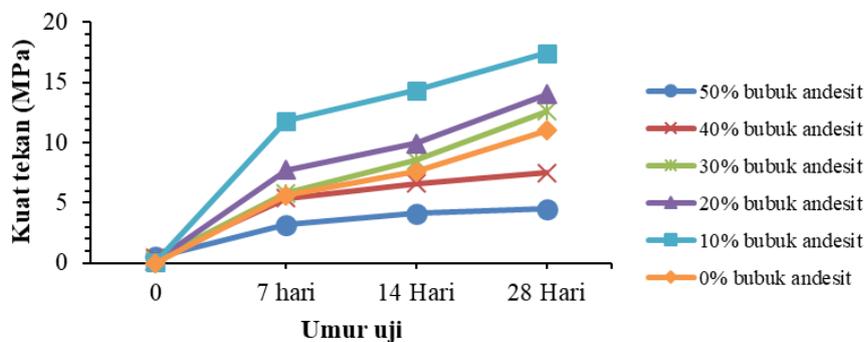
Berdasarkan **Gambar 2** perbandingan kuat tekan untuk masing-masing kuat tekan mortar terlihat bahwa meskipun didesain dengan kuat tekan dan FAS yang sama, namun kuat tekan yang dihasilkan terjadi perbedaan untuk masing-masing substitusi bubuk andesit. Pada pengujian mortar yang

menggunakan bubuk andesit sebagai pengganti sebagian semen (*admixture minerals*) untuk umur 28 hari kuat tekan maksimum terjadi pada variasi penambahan bubuk andesit 10% yaitu sebesar 17,4 MPa yang mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan umur uji mortar pada umur 7 dan 14 hari, selisih kenaikannya mencapai 3 kali peningkatan. Kuat tekan pada umur 28 hari mengalami peningkatan yang tajam untuk seluruh persentase variasi campuran bubuk andesit, sedangkan kuat tekan terendah dihasilkan pada presentase 50% yaitu 4,5 MPa.

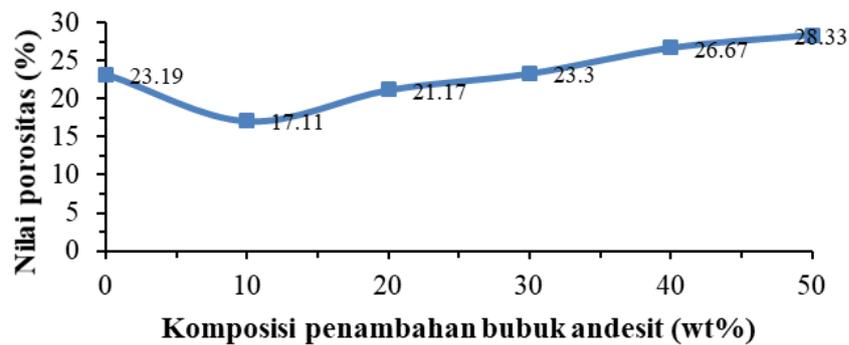
Sedangkan mortar normal (0 wt%) kuat tekan yang dihasilkan sebesar 11,0 MPa. kuat tekan mortar akan semakin meningkat jika kadar campuran bubuk andesit berkisar antara 10% hingga 30% dari jumlah semen yang ditinjau dari kuat tekan mortar normal (0 wt%).

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan mortar dengan penambahan bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen

| Komposisi bubuk andesit (wt%) | FAS | Luas kubus (cm ²) | Kuat tekan rata-rata (MPa) | | |
|-------------------------------|-----|-------------------------------|----------------------------|---------|---------|
| | | | 7 hari | 14 hari | 28 hari |
| 0 | 0,5 | 0,0025 | 5,6 | 7,56 | 11,0 |
| 10 | 0,5 | 0,0025 | 11,8 | 14,3 | 17,4 |
| 20 | 0,5 | 0,0025 | 7,7 | 9,9 | 14,0 |
| 30 | 0,5 | 0,0025 | 5,8 | 8,5 | 12,6 |
| 40 | 0,5 | 0,0025 | 5,4 | 6,6 | 7,5 |
| 50 | 0,5 | 0,0025 | 3,2 | 4,1 | 4,5 |



Gambar 2. Grafik perbandingan kuat tekan mortar untuk masing-masing umur uji



Gambar 3. Grafik hasil pengujian porositas dengan penambahan persentase bubuk andesit (wt%) dengan umur uji 28 hari

Sedangkan pencampuran diatas 30% akan mengurangi kekuatan mortar itu sendiri. Dengan demikian penambahan dengan kadar 30% merupakan kadar pencampuran optimum pada campuran ini. Penurunan ini disebabkan oleh adanya rongga pada mortar sewaktu pencetakan dan ikatan partikel-partikel antara bahan mineral (bahan campur) yang kurang kuat pada bubuk andesit diatas 30% [10]. Selain itu waktu perendaman yang lama memberikan kuat tekan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena mortar dengan bahan baku mineral alam yang bersifat pozzolan (*admixture minerals*) membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai keadaan hidrasi penuh, selain itu penambahan bahan mineral dalam jumlah yang banyak akan menurunkan kuat tekan yang dihasilkan, penurunan kuat tekan tersebut disebabkan oleh partikel partikel yang ada dalam batuan mineral yaitu basalt, andesit dan piroksen yang mencapai kadar yang optimum [11,12].

Hasil Pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas pada mortar yang dicampur dengan penambahan bubuk andesit (wt%) terhadap berat semen pada umur uji 28 hari disajikan pada **Gambar 3**. Dari gambar tersebut memperlihatkan hasil pengujian nilai porositas terhadap mortar pada umur 28 hari dengan berbahan campur

berupa bubuk andesit. Penambahan bahan mineral berupa andesit sebagai pengganti sebagian semen anantara 20% - 30% tidak begitu mempengaruhi porositas dari semen tersebut, namun seiring dengan bertambahnya bahan mineral tersebut (*admixture minerals*) akan meningkatkan porosnya. Meningkatnya nilai porositas tersebut disebabkan oleh adanya rongga pada mortar sewaktu pencetakan dan ikatan antar agregat (bahan campuran) yang kurang kuat pada bubuk andesit diatas 30%, faktor lainnya yang mempengaruhi nilai porositas yaitu disebabkan oleh distribusi ukuran dari matrix yang menggantikan sebagian semen *portland* oleh bahan tambahan mineral [13].

Hasil Pengujian X-Ray Fluorescence (XRF)

Data hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) pada mortar yang dicampur dengan bubuk andesit pada umur 28 hari disajikan pada **Tabel 2**. Berdasarkan analisa pada **Tabel 2** dapat kita ketahui kandungan Si, Al, Fe pada bubuk andesit yang ditambahkan dalam pembuatan benda uji mortar dan mortar normal (0 wt%) semakin menurun seiring dengan bertambahnya variasi yang ditambahkan pada pembuatan benda uji mortar, dengan semakin menurunnya senyawa-senyawa tersebut, maka kuat tekan yang dihasilkan akan

menurun pula. Kandungan senyawa yang terkandung pada bubuk andesit lebih didominasi oleh kandungan SiO_2 , dan senyawa-senyawa pengikutnya diantaranya Fe_2O_3 dan Al_2O_3 . Apabila senyawa tersebut ditambahkan secara terus-menerus, maka akan sangat berpengaruh terhadap ketahanan benda uji. Berbanding terbanding terbalik dengan senyawa Ca. Persentase senyawa yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan bertambahnya bubuk andesit yang ditambahkan pada masing-masing variasi sampel benda uji. Penurunan unsur Ca disebabkan oleh hidrasi secara terus menerus selama masa *curing* benda uji.

Senyawa tersebut sangat berpengaruh terhadap ketahanan dan kekuatan pada benda uji mortar yang dilakukan. Walaupun pada dasarnya senyawa tersebut sangat berpengaruh dan berperan penting dalam proses hidrasi semen, sehingga penambahan senyawa secara terus menerus akan berpengaruh besar terhadap nilai porositas, densitas, absorpsi dan kuat tekan benda uji. Penelitian sejenis dilakukan oleh Nath dan Sarker [14] dan [15] bahan pozzolan seperti *fly ash* yang kaya akan silika dan alumina namun kurang memiliki kualitas semen. Akan tetapi, senyawa-senyawa tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida di ruangan suhu yang membentuk senyawa seperti semen diantaranya SiO_2 , Fe_2O_3 dan Al_2O_3 ketika bergabung dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) dan kalsium aluminat hidrat (CAH).

Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Gambar 5 merupakan grafik XRD pada kalsinasi suhu 900 °C. Berdasarkan analisis hasil XRD menggunakan High Score Plus, diperoleh 5 puncak tertinggi yang tajam mengidentifikasi terbentuknya fasa kristal. Pada kalsinasi suhu 900 °C terjadi perubahan fasa *quartz* (SiO_2) menjadi *coesite* (SiO_2) yang sesuai dengan *file*

number COD 00-033-1161 pada puncak tertinggi $2\theta = 29,41^\circ$, $33,82^\circ$ dan $51,84^\circ$, *maghemite* (Fe_2O_3) menjadi *hematite* (Fe_2O_3) yang sesuai dengan *file number* COD 00-039-1346 pada puncak tertinggi $2\theta = 30,09^\circ$, $33,20^\circ$ dan $63,72^\circ$ sedangkan *corundum* (Al_2O_3) dan *lime* (CaO) tidak terjadi perubahan fasa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa mortar dengan penambahan bubuk andesit memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan mortar normal dengan penambahan bubuk andesit tidak lebih dari 30% dari berat semen. Semakin berkurangnya porositas dan absorpsi yang terbentuk pada mortar, maka densitas yang dihasilkan akan semakin tinggi dan mortar semakin padat, dimana semakin padatnya mortar akan meningkatkan kuat tekan mortar itu sendiri. Nilai kuat tekan tertinggi mortar dengan campuran bubuk andesit umur 7, 14 dan 28 hari yaitu berturut-turut adalah 11,8MPa, 14,3MPa dan 11,0MPa.

Sedangkan kuat tekan normal (0 wt%) berurut-turut adalah 5,6 MPa, 7,56 MPa dan 12,6 MPa. 4. Hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) pada umur uji 28 hari menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kandungan Si, Fe dan Al yang terdapat pada variasi campuran mortar, maka akan menurunkan kuat tekan mortar, sedangkan kandungan Ca menurun seiring dengan bertambahnya variasi bubuk andesit. Penurunan unsur Ca disebabkan oleh hidrasi secara terus menerus selama masa *curing*. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan fasa yang berbeda setelah kalsinasi dimana, fasa *quartz* (SiO_2) dan *maghemite* (Fe_2O_3) berubah menjadi *coesite* pada puncak tertinggi $2\theta = 29,41^\circ$, $33,82^\circ$ dan $51,84^\circ$, *hematite* pada puncak tertinggi $2\theta = 30,09^\circ$, $33,20^\circ$ dan $63,72^\circ$. Sedangkan fasa Al_2O_3 , dan CaO tidak mengalami

perubahan fasa selama kalsinasi berlangsung.

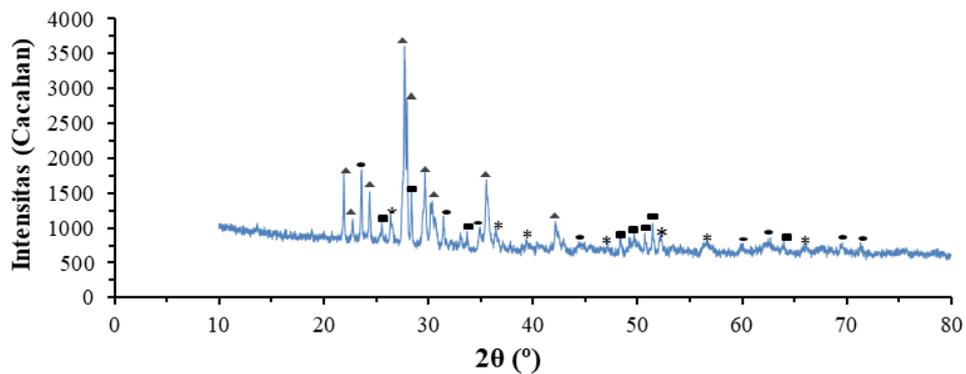
UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Analisis Kimia dan

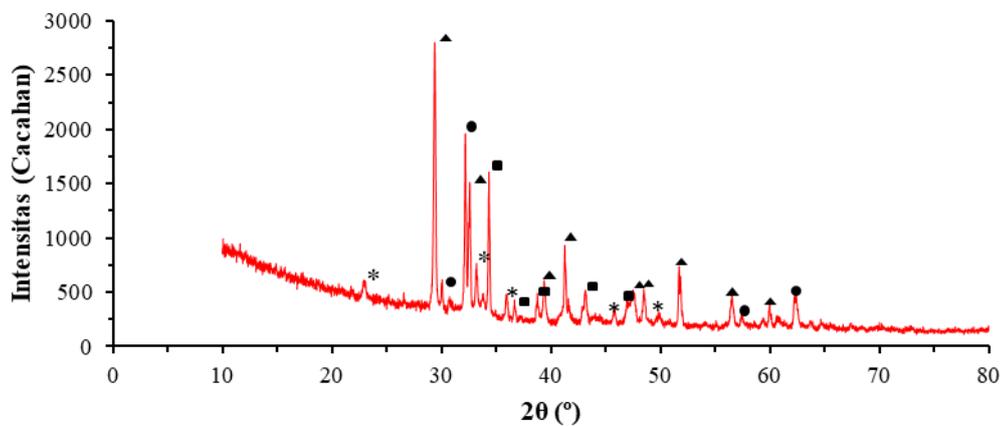
Non Logam Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) - Lampung Selatan serta Laboratorium Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Tabel 2. Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

| Komposisi | Unsur kimia rata-rata (%) | | | |
|-----------|---------------------------|------|-------|-------|
| | Si | Al | Fe | Ca |
| 0% | 20,54 | 6,81 | 10,22 | 56,12 |
| 10% | 24,11 | 7,94 | 12,96 | 47,92 |
| 20% | 25,51 | 8,34 | 13,32 | 44,71 |
| 30% | 25,76 | 8,39 | 13,40 | 44,60 |
| 40% | 25,80 | 8,69 | 13,51 | 43,79 |
| 50% | 27,77 | 9,68 | 16,79 | 37,78 |



Gambar 4. Difaktogram hasil analisis XRD sampel bubuk andesit sebelum dikalsinasi. Legend ▲= SiO₂, ● = Fe₂O₃, ■ = Al₂O₃, * = CaO. Panjang gelombang CuKα = 1,541874 Å



Gambar 5. Difaktogram hasil analisis XRD sampel bubuk andesit setelah dikalsinasi suhu 900 °C. Legend : ▲= SiO₂, ● = Fe₂O₃, ■ = Al₂O₃, * = CaO. Panjang gelombang CuKα = 1,541874 Å

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ashraf, A. Naeem Khan, Q. Ali, J. Mirza, A. Goyal, and A. M. Anwar, "Physico-chemical, morphological and thermal analysis for the combined pozzolanic activities of minerals additives," *Constr. Build. Mater.*, 2009.
- [2] R. Siddique and J. Klaus, "Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review," *Appl. Clay Sci.*, vol. 43, no. 3–4, pp. 392–400, 2009.
- [3] M. Najimi, J. Sobhani, B. Ahmadi, and M. Shekarchi, "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan," *Constr. Build. Mater.*, vol. 35, pp. 1023–1033, 2012.
- [4] K. De Weerd, M. Ben Haha, G. Le Saout, K. O. Kjellsen, H. Justnes, and B. Lothenbach, "Cement and Concrete Research Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash," *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 3, pp. 279–291, 2011.
- [5] L. Laibao, Z. Yunsheng, Z. Wenhua, L. Zhiyong, and Z. Lihua, "Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 48, pp. 434–440, 2013.
- [6] M. E. S. I. Saraya, "Study physico-chemical properties of blended cements containing fixed amount of silica fume, blast furnace slag, basalt and limestone, a comparative study," *Constr. Build. Mater.*, 2014.
- [7] F. Deschner, F. Winnefeld, B. Lothenbach, S. Seufert, P. Schwesig, S. Dittrich, F. Goetz-Neunhoffer, and J. Neubauer, "Hydration of Portland Cement with High Replacement by Siliceous Fly Ash," *Cem. Concr. Res.*, vol. 42, no. 10, pp. 1389–1400, 2012.
- [8] B. Lothenbach, K. Scrivener, and R. D. Hooton, "Cement and Concrete Research Supplementary cementitious materials," *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 12, pp. 1244–1256, 2011.
- [9] H. Binici, O. Aksogan, I. H. Cagatay, M. Tokyay, and E. Emsen, "The effect of particle size distribution on the properties of blended cements incorporating GGBFS and natural pozzolan (NP)," *Powder Technol.*, vol. 177, no. 3, pp. 140–147, 2007.
- [10] W. D. Martin, N. B. Kaye, and B. J. Putman, "Impact of vertical porosity distribution on the permeability of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 59, pp. 78–84, 2014.
- [11] J. F. Dong, Q. Y. Wang, and Z. W. Guan, "Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 130, pp. 241–251, 2017.
- [12] C. J. Zega and Á. A. Di Maio, "Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements," *Waste Manag.*, vol. 31, no. 11, pp. 2336–2340, 2011.
- [13] P. Diederich, M. Mouret, A. de Ryck, F. Ponchon, and G. Escadeillas, "The nature of limestone filler and self-consolidating feasibility-Relationships between physical, chemical and mineralogical properties of fillers and the flow at different states, from powder to cement-based suspension," *Powder Technol.*, 2012.
- [14] P. Nath and P. Sarker, "Effect of fly ash on the durability properties of high strength concrete," *Procedia Eng.*, vol. 14, no. Malhotra 2002, pp. 1149–1156, 2011.

- [15] M. M. Hossain, M. R. Karim, M. Hasan, M. K. Hossain, and M. F. M. Zain, “Durability of mortar and concrete made up of pozzolans as a partial replacement of cement: A review,” *Construction and Building Materials*. 2016.

Herullah dkk : Kuat Tekan Analisa Pengaruh Penambahan Variasi Bubuk Andesit Terhadap Karakteristik Mortar