

PENGARUH PERLIT LAMPUNG SEBAGAI MATERIAL AGREGAT MORTAR TERHADAP KUAT TEKAN

EFFECT OF LAMPUNG PERLIT AS MATERIAL AGGREGATE MORTAR TO STRONG PRESS

Muhammad Amin¹, Bramantyo Bayu Aji², Via Apri Setiani³ dan Syafriadi⁴

^{1,2}Balai Penelitian Teknologi Mineral –Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan

^{3,4}Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145
E-mail: maminmuha047@gmail.com

Dikirim 30 Januari 2018 Direvisi 22 Februari 2018 Disetujui 18 Maret 2018

Abstrak : Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlit Lampung yang digunakan sebagai material agregat mortar terhadap kuat tekan. Perlit yang digunakan yaitu ukuran *mesh* 40. Variasi komposisi yang digunakan diantaranya 1:2, 1:3, 1:4 dan 1:5 (semen:perlit). Analisa yang dilakukan diantaranya kadar air, berat jenis, kadar lumpur, absorpsi dan karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan dengan umur uji 14 hari. Hasil analisa bahan baku menunjukkan bahwa perlit memenuhi standar sebagai material agregat mortar dan memiliki kandungan Si yang tinggi yaitu 57,06%. Kuat tekan terbaik diperoleh pada mortar dengan komposisi 1:2 (semen 1: perlit 2) yaitu 156,8 kg/cm². Kuat tekan mortar menurun seiring bertambahnya jumlah perlit pada komposisi 1:3, 1:4 dan 1:5 dengan nilai kuat tekan berturut-turut 84 kg/cm², 70 kg/cm² dan 33,6 kg/cm². Penurunan ini disebabkan oleh kandungan SiO₂ yang berlebihan sehingga berikatan dengan CaO bebas yang terkandung dalam semen dan membentuk Ca(OH)₂. Ca(OH)₂ menyebabkan kepadatan mortar menjadi berkurang dan mengakibatkan terbentuknya rongga-rongga udara.

Kata kunci: perlit, mortar, kuat tekan

Abstract : This research was conducted to find out the effect of Lampung perlite which used as mortar aggregate material against compressive strength. Perlite used is the mesh size 40. Variations of composition used are 1: 2, 1: 3, 1: 4 and 1: 5 (cement: perlite). Analyzes conducted include water content, specific gravity, mud content, absorption and characterization of *X-Ray Fluorescence* (XRF). The test is a compressive strength test with a 14 day test life. The result of raw material analysis shows that the perlite meets the standard as a mortar aggregate material and has a high Si content of 57.06%. The best compressive strength is obtained on mortar with a 1: 2 (cement 1: perlite 2) composition of 156.8 kg/cm². The compressive strength of the mortar decreased with increasing number of perlite in 1: 3, 1: 4 and 1: 5 compositions with a compressive strength value of 84 kg/cm², 70 kg/cm² and 33.6 kg/cm², respectively. This decrease is caused by excessive SiO₂ content so that it binds to the free CaO contained in the cement and forms Ca(OH)₂. Ca(OH)₂ causes the mortar density to decrease and result in the formation of air cavities.

Keywords : perlite, mortar, compressive strength

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan daerah vulkanik yang kaya akan bahan galian industri seperti batuan gelas vulkanik berupa perlit. Perlit dapat dimanfaatkan dalam konstruksi bangunan sebagai bahan baku beton ringan, isolasi bangunan, bahan plesteran, *concrete aggregate* (10%), *oil drilling mud* (6%), *filter aid* (2%), bahan baku *pozzolan*, bahan

bangunan/elemen konstruksi seperti mortar, namun pemanfaatan perlit masih sangat kurang teroptimalkan (Isikdag, 2015).

Perlit (*perlite*) didefinisikan sebagai *volcanic glass* dengan struktur perlitis, terutama jika gelas tersebut berasal dari batuan rhyolitik (bersifat asam) dan kaya akan kandungan air. *Volcanic glass* pada umumnya terbentuk dari letusan gunung berapi yang membeku dengan cepat,

akibatnya terbentuk kristal secara sempurna dan tidak ada kesempatan air keluar dari material tersebut (Nusa, 2016). Perlit terbentuk oleh lava riolit, dimana saat lava mengalir, bagian bawahnya bersentuhan dengan media air dan akibat beban di atasnya aliran lava yang tertahan terjadi pendinginan yang sangat cepat maka terbentuklah perlitisasi. Perlit merupakan vulkanik batuan silikat/alumina yang dapat mengembang sangat cepat jika dipanaskan pada 900-1200°C (Rashad, 2016). Perlit biasanya berwarna abu-abu, kehijauan sampai kehitaman. Perlit juga mengandung komposisi *rhyolithic* biasanya terbentuk dari hidrasi obsidian. Apabila terjadi pemanasan dengan suhu antara 760-1100°C, kandungan air di dalam perlit berubah menjadi tekanan uap yang menyebabkan perlit mengembang 4-20 kali volume semula dan menjadikan perlit sangat berpori (Allameh-Haery, *et al.*, 2017).

Expanded perlite merupakan perlit yang mengembang setelah mengalami pemanasan. Perlit memiliki 2-5 % komposisi air yang dapat menyebabkan perlit mengembang 10-30 kali dari volume awalnya ketika dipanaskan dengan temperatur antara 760-1150 °C. Perlit memiliki karakter asam terdiri dari 3-10 % mineral kristal termasuk obsidian juga (Celik, *et al.*, 2016). Obsidian memiliki sejumlah elemen dengan konsentrasi lebih rendah dari perlit yaitu <0,1% yang biasa disebut *trace element*. Obsidian meningkatkan hidrat apabila terkena air tanah. Obsidian menjadi struktur *perlitic* dari waktu ke waktu, menyebabkan terjadinya pemecahan batu bulatan kecil yang menimbulkan devitrifikasi seperti, kristal mikroskopis dari kuarsa, *feldspar*, kristobalit dan pertumbuhan kristal seperti serat radial (*spherulites*) (Bulut, 2010). Perlit disebut juga obsidian ditandai dengan *spherulites* yang memberikan penampakan jenis batuan seperti mutiara bila dilihat dengan *microscopically* (Rodriguez, *et al.*, 2017). Karakteristik batuan berdasarkan analisis mikroskopis

memperlihatkan tekstur gelas masif dan retakan konkoidal (mengulit bawang) yang merupakan ciri khas perlit. Komposisi mineral sebagian besar terdiri dari gelas perlit (90-97%) serta mineral opak dan plagioklas (masing-masing kurang dari 1%) (Ismayanto dan Agustinus, 2007). Perlit memiliki beberapa sifat fisis ringan, tahan api, insulator yang baik, ketahanan fisik yang baik, densitas rendah, porositas tinggi dan retensi air yang baik (Allameh-Haery, *et al.*, 2017).

Manfaat Perlit, perlit dapat digunakan sebagai plester, agregat dan bahan isolasi di sektor konstruksi, serta bisa dikatakan bahwa perlit digunakan untuk bahan baku pozzolan dengan kualitas yang baik (Bulut, 2010). Perlit memiliki manfaat sebagai bahan baku beton ringan, isolasi bangunan, plesteran, *concrete aggregate* (10%), *oil drilling mud* (6%), filter aid (2%), bahan baku *pozzolan* dan bahan bangunan/elemen konstruksi (Isikdag, 2015).

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi campuran bahan baku anatara semen dengan basalt terhadap sifat fisis dan kuat tekan mortar?
2. Bagaimana pengaruh komposisi kimia perlit pada kekuatan mortar?

Batasan Masalah

1. Variasi komposisi perlit adalah 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 ukuran mesh lolos 40
2. Uji kuat tekan mortar dengan umur uji 14 hari.
3. Perlit yang digunakan berasal dari Lampung Barat

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui komposisi kimi perlit asal Lampung Barat

2. Mengetahui pengaruh komposisi bahan baku semen dan perlit terhadap sifat fisis dan kuat tekan.

Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Mampu mengembangkan perlit menjadi suatu hal yang lebih bermanfaat.
2. Memberi informasi baru mengenai perlit yang digunakan sebagai agregat halus penyusun mortar dan informasi tersebut dapat dijadikan sebagai referensi penelitian selanjutnya.

LANDASAN TEORI

Perlit kebanyakan berwarna abu-abu gelap dan apabila perlit dipanaskan dengan suhu 900–1000°C akan mengalami pengembangan sebesar 4–20kali dari volume sebelumnya. Batuan perlit banyak terdapat di daerah Lampung di desa Sungai Mukal kompleks Gunung Muhal desa Sukabumi Kec. Batubara Lampung Barat. Jumlah cadangan batuan perlit cukup banyak yaitu 72 juta ton dengan indeks pemuaian 120-160 kali (Amin, 2013). Perlit merupakan mineral vulkanik yang berupa alumina silikat memiliki komposisi kimia: minimal 69% SiO₂, maksimal 18% Al₂O₃, 6% (CaO+MgO), 8% (Na₂O + K₂O), 3% Fe₂O₃ (Karo Karo, 2013). Kandungan silika dan alumina yang tinggi pada perlit menjadikan perlit dapat digunakan sebagai bahan mortar.

Mortar merupakan campuran bahan bangunan yang terdiri dari agregat halus,

semen dan air. Tingkat perbandingan semen dan pasir yang membentuk mortar ini berkisar antara 1:2 sampai 1:6. Mortar yang berkualitas baik harus memiliki sifat fisis dan kuat tekan yang baik (Setiawan dan Widodo, 2013). Mortar merupakan campuran bahan bangunan yang terdiri dari agregat halus, semen dan air. Mortar disebut juga sebagai plesteran. Mortar dibuat dengan menggunakan air, pasir dan semen (Dahlan dan Mulyati, 2011). Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai pengisi. Mortar merupakan gabungan dari bahan bangunan, yang perlu diketahui dari bahan bangunan yaitu densitas, porositas, absorpsi dan kekuatan tekan (Nugraha dkk, 2007).

Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnya. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Damayanti dkk, 2014). Berdasarkan SNI 03-6882-2002, proporsi mortar di spesifikasikan dalam 4 tipe menurut kekuatan mortar dan ketentuan spesifikasi proporsi bahan yang terdiri dari bahan bersifat semen, agregat, dan air yang digunakan. Tipe – tipe mortar adalah sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Persyaratan proporsi mortar.

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)				Rasio agregat (pengukuran kondisi lembab dan gembur)
		Semen <i>portland</i>	Semen pasangan			
		M	S	N		
	M	1		1		
	M	-	1			
Semen pasangan	S	-		1	2.25-3 kali jumlah volume bersifat semen	
	S	0.5	1			
	N	-		1		
	O	-		1		

(Sumber: SNI 03-6882).

Spesifikasi Sifat Mortar

Mortar yang memenuhi ketentuan spesifikasi ini harus berdasarkan hasil pengujian yang disiapkan laboratorium

sesuai metode pengujian yang telah dikeluarkan oleh SNI. Persyaratan spesifikasi sifat mortar (Tabel 2), yaitu:

Tabel 2. Persyaratan spesifikasi sifat.

Mortar	Tipe	Kekuatan rata-rata 14 hari	Retensi air	Kadar udara	Rasio agregat (Pengukuran kondisi lembab dan gembur)
		Min. (Mpa)	Min. (%)	Maks. (%)	
	M	17,2	75	... b)	
Semen	S	12,4	75	... b)	2,25-3,5 kali
Pasangan	N	5,2	75	... b)	jumlah volume
	O	2,4	75	... b)	bersifat semen

Berdasarkan jenisnya, fungsi mortar dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

Berdasarkan jenisnya, fungsi mortar dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Konstruksi Struktural

Mortar konstruksi struktural digunakan sebagai spesi dinding dan juga pondasi. Mortar direncanakan untuk menahan gaya tekan (sebagai pengikat batu bata pada dinding maupun pondasi).

2. Konstruksi Non-struktural

Mortar konstruksi non-struktural digunakan sebagai pelapis dinding (Adi, 2009). Ada beberapa fungsi lain dari mortar yaitu untuk menambah lekatan dan ketahanan dengan bagian-bagian konstruksi, sebagai pengikat batubata, pekerjaan plesteran serta pengikat keramik dan secara estetika, mortar memberikan warna dan tekstur pada dinding tembok (Kusumah dkk, 2016).

Berdasarkan jenis bahan ikatannya mortar dapat dibagi menjadi empat jenis, sebagai berikut:

1. Mortar Lumpur

Mortar lumpur merupakan yang terdiri dari pasir, lumpur dan air. Pasir, tanah liat dan air tersebut dicampur sampai rata dan mempunyai kelecakan yang cukup baik. Jumlah pasir harus diberikan secara tepat untuk memperoleh adukan yang baik. Terlalu sedikit pasir menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan. Terlalu banyak pasir menyebabkan adukan kurang dapat melekat dengan baik. Mortar jenis ini digunakan sebagai bahan tembok atau tungku api di pedesaan.

2. Mortar Kapur

Mortar kapur merupakan mortar yang terdiri dari pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur

dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya untuk memperoleh adukan dengan kelecakan yang baik. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur. Jenis kapur yang biasa dipakai dalam adukan mortar ini yaitu *fat lime* dan *hydraulic lime*.

3. Mortar Semen

Mortar semen terbuat dari adukan semen, pasir dan air. Mortar semen memiliki kekuatan yang jauh lebih kokoh dibanding dengan jenis mortar yang lain, sehingga mortar semen sering digunakan untuk tembok, pilar, kolom atau bagian-bagian lain yang menahan beban. Mortar semen ini rapat air, maka sering juga digunakan untuk bagian luar dan yang berada di bawah tanah. Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat. Prinsip kerja mortar semen adalah air dan semen membentuk pasta, di mana pasta semen ini akan mengisi pori-pori diantara agregat halus dan mengikatnya sehingga menciptakan butiran agregat yang saling terikat dan membentuk suatu massa yang padat (Tjokrodinuljo, 1996).

4. Mortar Khusus

Mortar khusus merupakan mortar yang adukannya diberi tambahan berupa zat aditif yang mempunyai kegunaan tertentu. Mortar khusus diperoleh dengan menambahkan asbestos fibres, jutes fibres (serat alami), butir – butir kayu, serbuk gergaji kayu, serbuk kaca dan lain sebagainya. Mortar khusus digunakan dengan tujuan dan maksud tertentu, contohnya mortar tahan api diperoleh dengan penambahan serbuk bata merah dengan alum inous cement, dengan

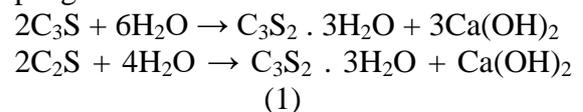
perbandingan satu aluminous cement dan dua serbuk batu api. Mortar ini biasanya dipakai untuk tungku api dan sebagainya (Simanullang, 2014).

Bahan Penyusun Mortar

Bahan-bahan penyusun mortar diantaranya, semen, pasir dan air.

1. Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidraulis (*hidrolic binder*) artinya, senyawa-senyawa yang terkandung dalam semen tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan. Semen bersifat mengeras bila dicampur dengan air. Bahan baku pembuat semen berupa *klinker* (berasal dari batu kapur, tanah liat, pasir besi dan pasir silika), gipsum, serta penambahan *pozzolan* (Damayanti dkk, 2014). Semen merupakan hasil dari pembakaran bahan seperti batu kapur dan tanah liat sampai meleleh, sebagian untuk membentuk klinkernya yang kemudian dihancurkan dan ditambahkan dengan gips (gypsum) dalam jumlah yang sesuai. Semen hidrolik adalah material yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekat dan mengeras apabila dicampur dengan air dan setelah mengeras tidak mengalami perubahan kimia jika dikenai air (Putra dan Deswita, 2015). Berikut merupakan reaksi pengerasan semen:



Jika bahan semen diuraikan susunan senyawanya secara kimia (dengan analisis kimia) akan terlihat jumlah oksida yang membentuk bahan semen itu. Semen dibuat dari bahan-bahan yang mengandung oksida-oksida. Kandungan yang terdapat pada semen diantaranya terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Susunan oksida semen *portland*.

Oksida	Rata-rata(%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Alumunia (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Soda/ <i>potash</i> (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5-1

(Sumber: Kardiyono, 1989).

Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen *portland*, yaitu:

1. *Tricalcium Aluminate* (C₃A).
2. *Tricalcium Silikat* (C₃S).
3. *Dicalcium Silikat* (C₂S).
4. *Tetra Calcium Aluminoferrite* (C₄AF) (L.J Murdock, 1986).

2. Pasir

Pasir adalah bahan butiran alami halus yang terdiri dari batuan dan mineral. Komposisi pasir sangat bervariasi, tergantung pada sumber-sumber lokal dan kondisi. Pasir merupakan agregat alami yang berasal dari letusan gunung berapi,

sungai, dalam tanah dan pantai. Pasir dapat digolongkan dalam tiga macam yaitu pasir galian, pasir laut dan pasir sungai. Pasir tergolong dalam agregat halus, syarat untuk agregat halus yaitu agregat halus yang terdiri dari butir-butiran tajam, keras, kekal dengan gradasi yang beraneka ragam (Putra dan Deswita, 2012). Pasir tergolong dalam agregat halus, syarat untuk agregat halus yaitu agregat halus yang terdiri dari butir-butiran tajam, keras, kekal dengan gradasi yang beraneka ragam. Pasir dibagi menjadi 4 zona, dalam praktik di Indonesia masih banyak digunakan 4 zona tersebut (lihat Tabel 4), selain itu untuk mendapatkan pasir dengan gradasi yang baik perlu diadakan pengujian laboratorium (Hairulla, 2015). Pasir pada umumnya memiliki karakteristik seperti kadar lumpur, berat jenis, kadar air. Batas gradasi agregat halus menurut British Standart dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 di bawah ini menunjukkan karakteristik pasir asal Tanjung Bintang.

Tabel 4. Batas gradasi agregat halus menurut British Standart.

Lubang ayakan (mm)	Persentase lolos saringan (%)			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	75-100	95-100
1,2	30-70	55-90	55-90	90-100
0,6	15-34	35-59	35-59	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: Nugraha Paul dan Antoni, 2007).

Tabel 5. Hasil karakteristik pasir asal Tanjung Bintang Lampung.

Karakteristik	Nilai	Syarat
Kadar lumpur (%)	4,13	<5
Berat jenis (gr/cm ³)	2,50	-
Penyerapan air (%)	9,15	-
Modulus halus pasir	2,65	1,5-3,8
Kadar air (%)	2,09	-
<i>Bulk density</i> (gr/cm ³)	1,21	-

(Sumber: Laboratorium BPTM-Lipi Lampung).

Pasir merupakan butiran mineral alami sebagai bahan pembentuk adukan (spesi) atau mortar dapat berupa pasir alam yaitu sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan yang banyak macamnya atau dapat berupa pasir buatan yaitu pasir yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Pasir menempati kira-kira 70% volume mortar. Pasir sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar. Sehingga pemilihan pasir sangat penting dalam pembuatan mortar (Nurlina dkk, 2014).

Ukuran Partikel Agregat:

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar. Agregat menempati 70 % - 75 % dari total volume mortar maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas mortar. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat distribusi ini dibedakan menjadi 3 yaitu, gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus *continous grade*). Butiran yang memiliki ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar, sebaliknya jika ukuran butirannya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butiran yang lebih kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit dan beton memiliki kemampuan yang tinggi (Zulhijah dkk, 2015).

Fungsi dari gradasi sebagai pengisi volume rongga berkurang dan penggunaan semen *portland* berkurang pula. Susunan gradasi ukuran butiran agregat yang bervariasi akan menghasilkan

mortar yang padat dengan kekuatan tekan yang besar. Gradasi agregat dapat menentukan modulus kehalusan butiran (mkb). Modulus kehalusan butiran didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu sel ayakan yang dibagi seratus. Secara umum ukuran partikel agregat dapat dibedakan menjadi 2 yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*British Standard*) atau 4.75 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.80 mm (4.75 mm). Agregat dengan ukuran lebih besar dari 4.80 – 40 mm disebut kerikil beton yang lebih dari 40 mm disebut kerikil kasar (Arum, 2013). Gradasi agregat halus sebaiknya sesuai dengan spesifikasi ASTM C-33 harus mempunyai butiran yang halus, tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, tidak mengandung zat organik lebih dari 0,5% dan untuk beton mutu tinggi dianjurkan dengan modulus kehalusan 3,0 atau lebih (L.J Murdock dan K.M Brook, 1986).

3. Air

Air dipergunakan pada pembuatan mortar agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan. Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan mortar untuk bereaksi dengan semen *portland* dan menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat dengan mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dipadatkan) (Arum, 2013).

Air yang digunakan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menurunkan kualitas mortar (Gunawan dkk, 2013). Air yang digunakan tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat menghalangi pengerasan semen *portland* atau dapat merusak beton itu sendiri. Misalnya lumpur, tanah liat, zat organik dan bahan-bahan yang terlarut seperti garam sulfat, klorida, asam dan basa. Air yang baik digunakan adalah air yang memiliki pH 6,5 - 9 mengandung ion-ion utama yang biasanya mengandung unsur kalsium, bikarbonat, sulfat, klorida, nitrat dan kadang-kadang mengandung karbonat (Sasongko dkk, 2014).

Penelitian ini menggunakan perlit sebagai agregat halus pada bahan mortar. Agregat adalah material yang dominan dalam konstruksi mortar, karena hampir 70% - 80% berat pada mortar adalah agregat, sehingga agregat mempunyai pengaruh yang penting pada sifat fisis seperti porositas, absorpsi, berat jenis dan kekuatan mortar (Rengkeng dkk, 2013). Butiran agregat apabila mempunyai ukuran yang sama volume pori-pori akan besar, sebaliknya jika ukuran butirannya bervariasi maka volume pori-pori menjadi kecil, karena butiran yang kecil dapat mengisi pori-pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga nilai kerapatannya tinggi (Dumbi, 2014).

Penelitian ini telah menganalisis pengaruh dari perlit Lampung yang digunakan sebagai bahan mortar terhadap nilai kuat tekannya. Selain itu juga dilakukan karakterisasi perlit menggunakan XRF. Hasilnya akan dibandingkan dengan mortar yang menggunakan pasir sebagai bahan baku standar mortar.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur yang berkaitan dengan penelitian dan metode eksperimen dilakukan dengan cara membuat mortar yang terbuat dari

campuran semen dan perlit secara langsung dengan mencampur bahan baku pasir dengan perlit dengan perbandingan tertentu, perlit yang digunakan dilakukan penggilingan sampai halus lalu diayak sampai lolos mesh 40 selanjutnya dicampur dengan penambahan air sampai terbentuk adonan lalu dicetak dalam cetakan bentuk kubus berukuran 5x5x5 cm dan direndam dalam air selama 14 hari dilanjutkan dengan dilakukan uji fisik kuat tekan.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan Juni 2016 s/d Agustus 2017 bertempat di Laboratorium Balai penelitian Teknologi Mineral Tanjung Bintang dan Laboratorium Teknik Sipil UNILA

Bahan Yang Digunakan: mineral perlit, semen, air

Alat Yang Digunakan: mesin penghalus, mesin pengaduk, cetakan kubus 5x5x5 cm terbuat dari besi, timbangan, sendok semen ember perendaman

Sumber Data: data yang diperoleh dalam penelitian ini berasal dari data primer yang bersumber langsung dari hasil percobaan dalam penelitian berupa uji fisik benda uji dan data sekunder yang berasal dari literatur

Prosedur Penelitian dan Pengumpulan Data

- Perlit

Penelitian ini dimulai dengan menghancurkan batuan perlit dengan menggunakan alat *jaw crusher* dan dilanjutkan dengan proses penggilingan menggunakan *ball mill* selama 2 jam. Setelah melalui proses penggilingan dengan *ball milling*, perlit diayak menggunakan ukuran yang sesuai dengan ukuran yang digunakan yaitu *mesh 40*. Sebelum digunakan sebagai bahan mortar, perlit dianalisa kadar air, absorpsi dan berat jenisnya. Kemudian perlit ditumbuk kembali untuk dihaluskan dan diayak menggunakan menggunakan ukuran *mesh 200* yang akan digunakan untuk

karakterisasi bahan baku perlit menggunakan XRF.

Batuan perlit sebelum digiling dan setelah digiling ditunjukkan pada **Gambar 1**.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Perlit sebelum digiling dan (b) setelah digiling dan diayak.

- **Pasir Tanjung Bintang**

Selanjutnya melakukan uji gradasi pada pasir Tanjung Bintang dengan cara mengayak 400 gr dengan mesh 10, 35, 40, 50, 60 dan 100. Gradasi pasir yang didapat dengan cara menghitung komulatif persentase butir-butir pasir yang lolos pada masing-masing ayakan. Modulus kehalusan pasir dapat dihitung dengan persamaan 1 berikut:

$$MHB = \frac{\text{total berat komulatif}}{100} \quad (1)$$

Pada umumnya pasir dapat dikelompokkan menjadi tiga macam tingkat kehalusan yaitu pasir halus dengan MHB 2,20 – 2,60, pasir sedang dengan MHB 2,60 – 2,90 dan pasir kasar dengan MHB 2,90 – 3,20.

- **Pembuatan Benda Uji**

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji, dilakukan terlebih dahulu penimbangan sampel sesuai dengan variasi

komposisi perbandingan (semen:perlit) yang digunakan yaitu $S_1:P_2$ (semen1:perlit2), $S_1:P_3$ (semen1:perlit3), $S_1:P_4$ (semen1:perlit4) dan $S_1:P_5$ (semen 1:perlit5). Setelah masing-masing bahan ditimbang dilakukan pencampuran bahan baku (semen, perlit dan air) sampai homogen dengan faktor air semen yang digunakan adalah 0,4.

Bahan dimasukkan ke dalam *mixer* lalu diaduk hingga homogen dan terbentuk adonan. Lalu memasukkan adonan ke dalam cetakan kubus (ukuran 5 x 5 x 5 cm). Pengisian dilakukan lapis per lapis dan setiap lapis dipadatkan ± 25 kali. Setelah 24 jam didiamkan dalam cetakan, benda uji mortar dikeluarkan dari cetakan dan direndam ke dalam ember yang sudah berisi air. Perawatan mortar dilakukan dengan cara mortar direndam ke dalam ember yang berisi air sampai umur 14 hari sebagai waktu uji. Perendaman sampel ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Perendaman sampel.

Setelah direndam benda uji siap untuk dilakukan uji kuat tekan. Perhitungan kuat tekan dengan persamaan 2 sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dengan : A = luas penampang (cm^2)

P = beban (kg)

$f'c$ = kuat tekan (kg/cm^2).

Selain perlit penelitian ini juga menganalisa pasir yang digunakan sebagai bahan baku mortar yang standar dengan komposisi (semen:pasir) yang digunakan hanya 1:4 (semen1:pasir4) cukup dijadikan sebagai pembanding. Pasir juga dilakukan analisa bahan baku seperti kadar air, kadar

lumpur, berat jenis dan absorpsinya. Hasil analisa bahan baku dan uji kuat tekan mortar perlit dibandingkan dengan hasil dari yang menggunakan bahan pasir sebagai standar mortar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Bahan Baku Perlit dan Pasir

Hasil analisa bahan baku perlit dan pasir ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa bahan baku perlit dan pasir.

Analisa	Perlit	Pasir	Standar
Berat jenis (g/cm ³)	1,28	2,04	-
Kadar lumpur (%)	-	4,8	<5
Kadar air (%)	1,52	11,85	-
Absorpsi (%)	19,2	16,67	Maks. 13,27
MHB	0,425	2,33	2,2 – 2,6

Berdasarkan Tabel 1 kadar air dan berat jenis perlit lebih rendah dibandingkan pasir. Sedangkan absorpsinya baik perlit maupun pasir lebih besar dibandingkan dengan standar. Namun tidak terlalu berpengaruh, karena secara garis besar hasil analisa bahan baku tersebut memenuhi syarat sebagai agregat halus pada mortar karena hasil gradasi pada perlit maupun pasir memenuhi standar agregat halus. Untuk kadar Lumpur pasir yang digunakan memenuhi persyaratan yaitu kadar lumpur maksimum 5% sedangkan pasir yang digunakan sebesar 4,8%

Hasil Karakterisasi XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Hasil karakterisasi XRF pada perlit ditunjukkan pada **Tabel 2**

Tabel 2. Hasil karakterisasi XRF perlit.

Unsur	Perlit (%)
Si	57,06
Al	9,75
Ca	12,46
Fe	7,68
K	7,5
Na	1,67
Mn	1,2

Berdasarkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa perlit memiliki unsur didominasi oleh Silica dengan presentasi sebesar 57,06 %. Unsur Al dan Ca memiliki persentase kandungan unsur yang cukup tinggi dibandingkan dengan unsur lainnya yaitu Al = 9,75 % dan Ca = 12,46 %. Dengan komposisi seperti terlihat ditabel maka perlit bisa termasuk bahan pozzolan karena telah memenuhi persyaratan yang diinginkan ASTM C618-92 yaitu bahan mineral bisa dikatakan mempunyai sifat pozzolan apabila kandungan Si+Al+ Fe = min 70 % sedangkan mineral perlit yang digunakan kandungan Si+Al+ Fe = 74 % dan termasuk dalam golongan pozzolan alam yang merupakan sedimen atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif yang bila dicampur dengan kapur padam akan mengadakan proses sementasi atau berubah dan bereaksi menjadi sifat seperti semen.

Mindess and Young (1981) menyatakan bahwa proses hidrasi semen, yaitu terbentuknya calcium silicate hydrate (C3S2H3) adalah sebagai berikut:

1. Tricalcium silicate bereaksi dengan air:
 $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$
 2. Dicalcium silicate bereaksi dengan air:
 $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$
- Calcium silicate hydrate (C3S2H3 atau C-S-H) adalah senyawa yang memperkuat beton, sedangkan kapur mati (CH) adalah senyawa yang porous dan melemahkan beton. Penambahan kandungan silica yang berasal dari material pozzolan kedalam campuran semen akan merubah kapur mati

(CH) menjadi C3S2H3 (calcium silicate hydrate) yaitu senyawa yang dapat memperkuat ikatan antar partikel dalam campuran semen. Pada umumnya material pozzolan mengandung unsur-unsur silika, alumina dan besi oksida yang jika bereaksi dengan kalsium hidroksida dan alkali akan membentuk suatu komponen yang kompleks dimana pembentukannya tergantung pada pozzolanic activity dari material pozzolan. Namun demikian, karena pozzolanic activity tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan besarnya kandungan silika, alumina dan besi oksida yang terkandung pada material pozzolan, maka perlu adanya pengujian pozzolanic activity

untuk menentukan pozzolanic activity index dari setiap material pozzolan yang digunakan, material pozzolan menghasilkan campuran yang kohesif yang dapat mempertahankan sifat plastis dari campuran sehingga meningkatkan workabilitas campuran. Material ini juga bersifat menyerap air dari campuran dan menyimpannya untuk kebutuhan pada saat curing time.

Hasil Uji Gradasi Pasir

Hasil pengujian gradasi pasir ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Uji gradasi pasir

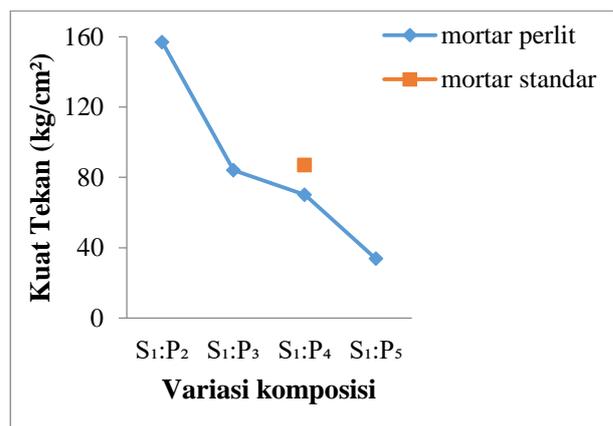
Lubang Ayakan		Berat Tertinggal		Berat Kumulatif
Mesh No	mm	Gr	%	
10	2	0	0	0
35	0,5	44,3	11,1	11,1
40	0,42	48,47	12,14	23,24
45	0,35	92,15	23,09	46,44
60	0,25	58,15	14,57	60,90
100	0,15	125,0	31,33	92,23
Total				233,25
				$233,25/100 = 2,3325$

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian gradasi pasir Tanjung Bintang masuk dalam jenis pasir halus dengan angka modulus halus butir (MHB) sebesar 2,33.

MHB sebesar 2,33 pasir yang digunakan sebagai agregat halus maka akan berfungsi mengisi rongga-rongga antara agregat kasar sehingga ketika dijadikan mortar maka antara agregat kasar dan agregat halus akan saling mengikat yang dilapisi oleh perekat semen sehingga ketika akan dilakukan uji kuat tekan maka akan menghasilkan kuat tekan yang handal dan kekuatan mortar meningkat.

Hasil Uji Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan pada mortar dengan bahan perlit dan bahan pasir ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hubungan variasi komposisi dengan kuat tekan mortar pada umur 14 hari.

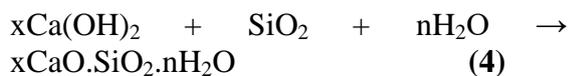
Keterangan:

- Mortar standar: mortar dengan bahan pasir dengan komposisi 1:4 (semen 1: pasir 4)

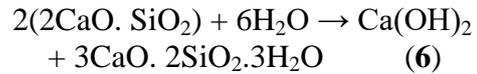
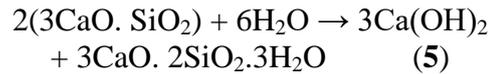
- S₁:P₂ (semen 1: perlit 2).
- S₁:P₃ (semen 1: perlit 3).
- S₁:P₄ (semen 1: perlit 4).
- S₁:P₅ (semen 1: perlit 5).

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara variasi komposisi (semen:perlit) dengan kuat tekan mortar yaitu bahwa kuat tekan mortar semakin menurun seiring dengan bertambahnya kandungan perlit dalam campuran. Kuat tekan tertinggi terjadi pada substitusi perlit pada komposisi S₁:P₂ yaitu dengan nilai 156,8 kg/cm². Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan mortar berbahan pasir yang digunakan sebagai standar mortar memiliki nilai kuat tekan sebesar 86,8 kg/cm².

Kuat tekan semakin menurun dari komposisi S₁:P₃ sampai pada variasi S₁:P₅ dengan nilai berturut-turut adalah 84 kg/cm², 70 kg/cm² dan 33,6 kg/cm². Penurunan kuat tekan pada penelitian ini disebabkan jumlah kandungan SiO₂ yang ada di dalam campuran mortar tidak proporsional/berlebihan. SiO₂ banyak terkandung di dalam perlit. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hambali (2013), senyawa SiO₂ bereaksi dengan Ca(OH)₂ dan menghasilkan kalsium siikat hidrat (CSH) yang berperan memberikan kekerasan pada *paving block*. Reaksi pengikatan Ca(OH)₂ oleh SiO₂ yang berlangsung sebagai berikut:



Kandungan SiO₂ yang berlebihan akan berikatan dengan CaO bebas yang terkandung dalam semen dan membentuk Ca(OH)₂. Ca(OH)₂ menyebabkan kepadatan *mortar* berkurang akibat terbentuknya rongga-rongga udara. Rongga-rongga udara ini akan terisi oleh air selama masa perendaman sampel. merupakan oksida pembentuk C₃S dan C₂S yang merupakan komponen utama dalam semen. Apabila C₃S dan C₂S bereaksi dengan air kembali membentuk senyawa Ca(OH)₂. Adapun reaksi yang berlangsung ditunjukkan pada persamaan 5 dan 6 yaitu:



Oleh karena itu, semakin tinggi komposisi perlit yang ditambahkan menyebabkan kuat tekan *mortar* semakin menurun. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Afif (2013). Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan *mortar* yaitu FAS (Faktor Air Semen). Faktor air semen (FAS) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. FAS yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 0,4 . Sesuai dengan pernyataan Mulyono (2003) umumnya kuat tekan dengan nilai FAS 0,4 akan menurunkan nilai kuat tekan pada komposisi 1:5 sampai 1:6.

Faktor air semen yang rendah merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan mortar mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas pada mortar. Semakin besar faktor air semen (FAS), maka semakin rendah kuat tekan betonnya. Namun faktor air semen (FAS) yang terlalu rendah mengakibatkan pasta semen tidak cukup untuk melapisi agregat (Ginting, 2015).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa hasil analisa bahan baku menunjukkan perlit memenuhi standar sebagai agregat halus pada mortar. Hasil karakterisasi XRF menunjukkan bahwa perlit memiliki unsur yang tertinggi yaitu Si. Kuat tekan terbaik diperoleh pada mortar dengan komposisi S₁:P₂ yang memiliki kuat tekan lebih besar dari kuat tekan mortar pasir yang digunakan sebagai standar mortar. Kuat tekan menurun seiringnya bertambahnya jumlah perlit. Hal ini dikarenakan kandungan SiO₂ yang berlebihan akan berikatan dengan CaO bebas yang terkandung dalam semen dan

membentuk Ca(OH)_2 menyebabkan kepadatan pada mortar berkurang akibat terbentuknya rongga-rongga udara.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Pengolahan Teknologi Mineral – LIPI Lampung yang telah mengizinkan melakukan penelitian disakter yang bapak pimpin.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. 2013. Proses Produksi Expanded Perlit Lampung Sebagai Material Industri Bata Ringan. *Prosiding Semirata FMIPA Unila*. Hal: 185-188.
- Adi, Rudi Yuniarto. 2009. Kuat Tekan Mortar Dengan Berbagai Campuran Penyusunan Umur. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol. 17. No. 1. Hal: 67-84.
- Arum, Tanjung Garnrsih. 2013. Kajian Optimasi Kuat Tekan Beton Dengan Simulasi Gradasi Ukuran Butir Agregat Kasar. *Jurnal Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil*. Universitas Negeri Yogyakarta
- Allameh-Haery, Haleh., Erich Kisi., Jubert Pineda., Laxmi Prasad Suwal., and Thomas Fiedler. 2017. Elastic properties of green expanded perlite particle compacts. *Journal of Powder Technology*. Vol. 310. Hal: 329–342.
- Bulut, Ulger. 2010. Use of Perlite as a Pozzolanic Addition in Lime Mortars. *Journal of Science*. No.23. Vol. 3. Hal: 305-313.
- Celik, Serdar., Roxana Family., and M. Pinar Menguc. 2016. Analysis of perlite and pumice based building insulation materials. *Journal of Building Engineering*. No. 9. Vol. 16. Hal: 1-16.
- Dumbi Pratiwi. 2014. Pengaruh Penambahan Material Halus Bukit Pasolo sebagai Pengganti sebagian Pasir terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 1. No. 1.
- Dahlan, Dahyunir dan Sri Mulyati. 2011. Pengaruh Persen Hasil Pembakaran Serbuk Kayu Dan Ampas Tebu Pada Mortar Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisisnya. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. Vol. 3 No. 2. Hal: 48-54.
- Damayanti, Mentari Catur., Nurlaela Rauf dan Eko Juarlin. 2014. Pengaruh Peredaman Air Laut Terhadap Kualitas Mortar Semen. *Jurnal Fisika*. Vol. 1. No. 1. Hal. 1-4.
- Gunawan, Purnawan., Wibowo dan Dwi Mardiyantoo. 2013. Pengaruh Penambahan Serat Aluminium Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1-6.
- Isikdag, Burak. 2015. Characterization of lightweight ferrocement panels containing expanded perlite-based mortar. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol 81. Hal:15-23.
- Ismayanto, Ahmad Fauzi dan Agustinus, Eko Tri Sumarnadi. 2007. Batuan Perlit Karangnunggal sebagai Bahan Sintesa Atapulgit. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Jilid 17. No. 2. Hal: 1-7.
- Ginting, A. 2015. Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*. 11(2): 76-168.

- Karo Karo, Pulung. 2013. Perbandingan Hasil Uji Fisis Komposit Polimer Berbasis Perlit Dengan Batu Apung. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 1. No. 02. Hal: 131-135
- Kusumah, Andi., Anita Setyowati Srle Gunarti dan Sri Nuryati. 2016. Perbandingan Kuat Tekan Mortar Menggunakan Air Saluran Tarum Barat dan Air Bersih. *Jurnal Bentang*. Vol. 4. No. 2. Hal: 30-37
- Kardiyono. 1989. *Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Bubuk Batu Gips*. Andi: Yogyakarta.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- Mindess, and Young., 1981, Concrete, Prentice-Hall, Inc. EngleWood Cliffs, N.J. 07632
- Murdock, L.J., dan Brook, K.. 1986. *Bahan Dan Praktek Beton*. Terjemahan Ir. Stephanus Hindarko. Erlangga: Jakarta.
- Nugraha., Paul dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Andi: Yogyakarta
- Nusa, Cipta. 2016. Enthalpy Studi Material Isolator Berbahan Dasar Fly Ash, Perlit dan Gypsum. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*. Vol. 1, No.1. Hal: 13-22.
- Putra, Ardian., dan Pipi Deswita. 2012. Penentuan Resistivitas Listrik Mortar Menggunakan Metode Probe Dua Elektroda. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. Vol. No. 2. Hal: 62-66.
- Rengkeng, Verra Deivy., H. Manalip., R. Pandleke dan W. J. Tamboto. 2013. Pemeriksaan Kuat Tarik Belah & Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar Batu Ape Dari Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1. No. 7. Hal: 486-492.
- Rashad, Alaa M. 2016. A Synopsis About Perlite As Building Material – A BestPractice guide. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 121No. 2. Hal: 338–353
- Rodriguez, J., F. Soria., H. Geronazzo., and H. Destefanis. 2017. Modification and characterization of natural aluminosilicates, expanded perlite, and its application to immobilise amylase from *A. oryzae*. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. No. 7. Vol. 17. Hal: 1-35.
- Setiawan, Danny dan Slamet Widodo. 2013. Efek Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tlentu Pasangan Beton Ringan Aerasi (Autoclaved Aerated Concrete) dengan menggunakan Thin Bed Mortar. *Jurnal Tugas Akhir*. Hal: 1-4.
- Simanullang, Dian Yunita. 2014. Kajian Kuat Tekan Mortar menggunakan Bahan Tambah Fly Ash dan Conplast dengan Perawatan (Curing). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 2, No. 4. Hal: 621-631.
- Sasongko, Endar Budi., Endang Widyastuti dan Rawuh Edy Priyono. 2014. Kajian Kualitas Air Dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Masyarakat Di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol. 12. No. 2. Hal: 72-82.
- Tjokrodinuljo, Kardiono. 1996. *Teknologi Beton*. Nafigiri: Yogyakarta

Zulhijah, Dilla., Sri Handani., dan Sri Mulyadi. Pengaruh Variasi Ukuran Agregat Terhadap

Karakteristik Beton Dengan Campuran Abu Sekam Padi. Jurnal Ilmu Fisika (JIF). Vol 7. No. 2. Hal: 50-55.

Halaman Kosong