

SIFAT FISIK DAN MEKANIK MORTAR DENGAN PENAMBAHAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* PADA LINGKUNGAN SULFAT

Muhammad Ilham¹⁾, Zulfikar Djauhari¹⁾, Iskandar Romey Sitompul¹⁾

¹⁾ Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : muhammad.ilham1608@student.unri.ac.id, zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id,
iskandar.romey@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

An aggressive environment can have an adverse impact on mortar, because there are reactive chemicals in that environment. One of the chemicals that no need harmful to mortar is magnesium sulfate. This study used Bacillus Subtilis bacteria as an additive by studying physical and mechanical properties, as well as an innovation to restore mortar using bacteria called Self Healing mortar. In this study there were test objects in the form of a cube measuring 5 x 5 cm with a total of 84 samples. Physical and mechanical properties tests on normal water-immersed normal mortar, normal water-immersed bacterial mortar, and sulfate-water-immersed bacterial mortar were carried out at the age of 28 days and 56 days. The physical properties of the mortar test were sorptivity, unit weight and porosity, while the mechanical properties test tested were compressive strength. The test results showed that the sorptivity value of the sulfate-soaked bacterial mortar was higher than the normal-water-soaked normal mortar and the normal-water-immersed bacterial mortar at the age of 28 days and 56 days, namely 0.1606 mm / min^{0.5} and 0.221 mm / min^{0.5}. The results of the weight test showed that the sulfate water-immersed bacterial mortar was lower than the normal water-immersed normal mortar and the normal water-immersed bacterial mortar at the age of 28 days and 56 days, namely 2.002 gr / cm³ and 2.077 gr / cm³. The results of the porosity test showed that the value of the sulfate-immersed bacterial mortar was higher than that of the normal-water-soaked normal mortar and the sulfate-water-immersed bacterial mortar at the age of 28 days and 56 days, namely 14.96 % and 15.22 %, respectively. Meanwhile, in the compressive strength test, the value of the sulfate-immersed bacterial mortar was lower than that of the normal-water-immersed mortar and the normal-water-immersed bacterial mortar at the age of 28 days and 56 days, namely 17.13 MPa and 16.98 MPa, respectively. Based on the data obtained, it could be concluded said that bacillus subtilis bacteria couldn't work well in a sulfate environment.

Keywords: Mortar, Bacillus Subtilis, Sulfate Environment, Physical Properties, Mechanical Properties, Self Healing

PENDAHULUAN

Penerapan mortar pada lingkungan agresif dapat membawa dampak yang merugikan terhadap mutu mortar. Pada lingkungan ini banyak mengandung zat-zat kimia yang bersifat reaktif terhadap unsur yang terdapat dalam mortar, dan akhirnya dapat menyebabkan terjadinya disintegrasi pada mortar. Dalam hal ini di perlukan mortar yang memiliki ketahanan yang tinggi

sehingga mortar tersebut tahan terhadap serangan air sulfat.

Asam sulfat adalah zat kimia yang memiliki kemampuan yang cukup tinggi yang dapat mengubah struktur pada mortar (Adrianingtias, 2013). Serangan sulfat pada mortar akan terjadi ketika larutan sulfat menembus dan bereaksi dengan mortar, terutama dengan semen (Fanisa, dan Gunawan, 2013)

Mortar merupakan bagian yang penting dari sebuah konstruksi bangunan. Mortar cenderung retak jika di bawah tekanan, atau keretakan bisa terjadi karena beban dari luar, deformasi, kembang susut, dan serangan sulfat. Tanpa perawatan yang efisien retak cenderung akan membesar dan membutuhkan biaya yang tinggi untuk perbaikannya. Jika dalam jangka panjang maka retak akan semakin membesar sehingga cairan asam dan zat organik lainnya dapat menembus pori-pori mortar sehingga mengakibatkan keruntuhan pada mortar (Nugroho, Satyarno, & Subyakto, 2015).

Lingkungan asam akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis beton, karena dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada beton (Putra, 2006). Serangan asam membuat pasta semen mengalami korosi, sehingga dapat menimbulkan ekspansi, retak dan kehancuran pada mortar.

Pengaruh ini akan menimbulkan keretakan yang harus di atasi, untuk mengatasi masalah ini diperlukan inovasi perbaikan. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian mengenai *self healing concrete* selalu berkembang dan perkembangan ini harus menghasilkan inovasi yang dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya. Salah satu inovasi *self healing concrete* adalah dengan memanfaatkan bakteri. Bakteri ditambahkan selama proses pencampuran bahan mortar berlangsung. Pada saat air masuk melalui celah-celah di dalam campuran maka bakteri akan tumbuh menjadi kecambah, ketika kontak langsung dengan air bakteri akan memakan asam oksalat kemudian menjadi batu kapur. Batu kapur tersebut akan mengeras pada retakan dipermukaan mortar, sehingga menutup retakan pada mortar.

TINJAUAN PUSTAKA

Mortar

Pengertian mortar menurut SNI-03-6825-2002 adalah campuran material pasir, air, dan semen portland dengan komposisi tertentu. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh jumlah semen dalam campuran faktor air semen

(FAS) dan perbandingan volume semen dan pasir, adapun macam mortar adalah:

- 1) Mortar lumpur, yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
- 2) Mortar kapur, yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
- 3) Mortar semen, yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Spesifikasi mortar menurut SNI 03-6882-2002, proporsi bahan di dasarkan pada volume pencampuran dari material penyusunnya:

Tabel 1. Persyaratan Proporsi

Mortar	Tipe	Campuran dalam Volume (bahan bersifat semen)			Rasio Agregat (Pengukuran kondisi lembab dan gembur)
		Semen Portland	Semen Pasangan		
			M	S	
	M	1		1	
	M				
	S			1	2,25-3 kali jumlah volume bersifat semen
Semen Pasangan	S	0,5		1	
	N			1	
	O			1	

Adapun tipe-tipe mortar sebagai berikut :

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe S atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa menurut Tabel 1, yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N atau kapur semen dengan menambahkan semen portland dan kapur padam dengan komposisi menurut Tabel 2.1.

4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa , yang dibuat dengan menggunakan semen pasangan tipe N.

Bahan Penyusun Mortar Semen Portland

Semen *portland* komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti panel beton, beton pracetak, beton pratekan, bata beton (*paving block*) dan sebagainya. *Portland Composite Cement* (PCC) merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik antara 6%-35% dari massa semen (SNI 15-7064, 2004).

Air

Dalam pembuatan mortar, air merupakan salah satu faktor penting, karena air nantinya yang akan bereaksi dengan semen, dan akan menjadi pasta pengikat antar agregat. Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran mortar adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan mortar dengan kekuatan lebih dari 90% dari beton yang memakai air suling (Istianto, 2010).

Self Healing Mortar

Penerapan *self-healing* pada retak mortar memiliki potensi untuk dikembangkan jika dikaji dari sisi lingkungan, ekonomi serta sosial. Penggunaan *self-healing* juga dapat mengurangi kebutuhan semen pada proses saat pembuatan mortar. *Self-healing concrete* juga dapat menurunkan biaya sebesar Rp 442.725/m³ , dikarenakan tidak perlu melakukan perbaikan pada beton jika terjadi keretakan (Rochani, Prasetyo, dan Kurniawan, 2016). Hal ini menjadikan *self-healing* dapat menjadi solusi infrastruktur rendah biaya, baik dalam segi pembangunan maupun pemeliharaan.

Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus Subtilis, biasanya disebut dengan *Bacillus* rumput, hal ini disebabkan oleh bentuknya yang seperti batang rumput. Bakteri ini termasuk dalam bakteri yang positif, positif katalase dan biasanya ditemukan di tanah. *Bacillus Subtilis* adalah bakteri batang dan memiliki endospore yang bersifat melindungi. Seperti beberapa jenis spesies *Bacillus* yang lain , *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang memiliki sifat respirasi anaerob obligat maksudnya bakteri yang dapat mengubah bentuknya dalam bentuk kapur. Zat kapur inilah yang nantinya akan menutupi keretakan pada mortar. Hal ini telah dibuktikan oleh beberapa penelitian yang disahkan kebenarannya.

Lingkungan Sulfat

Salah satu akibat dari lingkungan sulfat adalah terjadinya disintegrasi pada mortar. Proses disintegrasi merupakan suatu proses pemisahan atau pelepasan dari suatu bahan yang berukuran besar dan menyatu menjadi bahan yang berukuran kecil dan terpisah-pisah (Nugraha, Paul, dan Antoni, 2007). Jadi disimpulkan bahwa asam sulfat dapat menyebabkan disintegrasi pada komponen mortar yang akhirnya dapat mereduksi kekuatan mortar itu sendiri. Kuat tekan mortar merupakan indeks daya tahan terhadap agresi karena kekuatan, kepadatan serta permeabilitas yang rendah ini berkaitan satu dengan yang lainnya.

Sifat Fisik Mortar Sorptivity

Pengujian sorptivity bertujuan untuk menentukan tingkat penyerapan air ke dalam beton. Nilai sorptivity ditentukan berdasarkan garis regresi linear dari grafik hubungan antar jumlah air yang diserap persatuan luas permukaan (I) dengan akar waktu hisap (t). Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai sorptivity adalah :

$$I = C + St^{0,5} \quad (1)$$

Dimana :

I = Jumlah air persatuan luas (gr/mm²)

C = Konstanta

S = Sorptivity ($\text{mm}/\text{min}^{0,5}$)
 $t^{0,5}$ = akar waktu hisap (menit)

Berat Satuan

Berat satuan adalah standar atau dasar ukuran beton yang digunakan untuk menyatakan berat beton (m^3). Pengujian berat satuan ini yaitu pada umur 28 hari dan 56 hari. Untuk menghitung berat satuan ini dapat digunakan rumus:

$$B_s = B_m / V_m \quad (2)$$

Dengan:

B_s = Berat satuan mortar (gr/cm^3)

B_m = Berat mortar (gr)

V_m = Volume mortar (cm^3)

Porositas

Porositas mortar merupakan jumlah atau besarnya kadar pori yang terkandung dalam mortar. Pengujian porositas berfungsi untuk mengetahui seberapa besar porositas yang terdapat pada mortar. Semakin besar angka porositas yang didapat maka semakin rendah pula kekuatan pada mortar tersebut.

Perhitungan rumus porositas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{w_2 - w_1}{w_2 - w_3} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan:

n = Porositas benda uji (%)

w_1 = Berat sampel setelah di oven (Kg)

w_2 = Berat setelah direndam/jenuh air ditimbang di udara (Kg)

w_3 = Berat mortar dalam air (Kg)

Sifat Mekanik Mortar

Kuat Tekan

Mortar untuk pasangan batu bata maupun pasangan lainnya haruslah memiliki kekuatan yang baik. Kekuatan pada mortar di pengaruhi oleh bahan campurannya serta perbandingan bahan campuran tersebut. Beberapa negara sudah memiliki standar yang mencantumkan kekuatan aduk pada mortar.

Perhitungan rumus kuat tekan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

$f'c$ = Kuat Tekan (MPa atau N/mm^2)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Tertekan Benda Uji (mm^2)

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penyusun

Bahan-bahan penyusun benda uji dalam penelitian ini adalah:

a. Semen

Jenis semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*) produksi PT. Semen Padang.

b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Teratak Buluh, Kabupaten Kampar, Riau.

c. Air

Sumber air yang digunakan berasal dari sumur bor yang ada di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau.

d. Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bakteri *Bacillus Subtilis* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Universitas Gajah Mada. Volume konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* ini adalah 10^5 cells/20 ml.

Tahap Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, maka penelitian ini harus menggunakan sistematika dan urutan yang jelas dan teratur sehingga nantinya hasil yang didapatkan sesuai dengan rencana dan dapat dipertanggung jawabkan. Terdapat beberapa tahapan dalam pelaksanaan penelitian yaitu:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan studi literatur serta mempersiapkan alat uji penelitian.

2. Uji Bahan

Pada tahap ini dilakukan pengujian bahan yang akan digunakan dengan tujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan.

Perencanaan Benda Uji

Pada masing-masing benda uji dilakukan perendaman dengan umur 28 hari dan 56 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Tabel 2. Rencana Benda Uji

Pengujian	Perawatan							
	Mortar Normal Rendaman Air Normal		Mortar Bakteri Rendaman Sulfat		Mortar Bakteri Rendaman Air Normal			
	28 hari	56 hari	28 hari	56 hari (Retak)	56 hari	28 hari	56 hari (Retak)	56 hari
F ^c	3	3	3	-	3	3	-	3
F ^{cr}	-	-	-	3	-	-	3	-
Porositas	3	3	3	-	3	3	-	3
Sorptivity	3	3	3	-	3	3	-	3
Berat satuan	3	3	3	-	3	3	-	3

Berdasarkan Tabel 2 Jumlah perencanaan pembuatan benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini berjumlah 84 sampel yaitu 24 sampel mortar rendaman air normal, 27 sampel mortar bakteri dengan konsentrasi $10^5 \text{ cells}/20 \text{ ml}$ rendaman air normal dan 27 sampel mortar bakteri dengan konsentrasi $10^5 \text{ cells}/20 \text{ ml}$ rendaman larutan sulfat.

Perencanaan Campuran Benda Uji

Desain campuran (*mix design*) berdasarkan SNI 03-6825-2002, dengan perbandingan semen : pasir yaitu 1 : 3. Mutu mortar adalah 17,2 MPa. Hasil pengujian karakteristik agregat halus digunakan untuk memperoleh data-data dalam perencanaan komposisi mortar.

Perincian komposisi campuran mortar dengan volume 1 m^3 dapat dilihat pada Tabel 4 berikut. Perencanaan campuran pada penelitian ini mengacu pada standar SNI 03-6825-2002.

Tabel 3. Komposisi Campuran Mortar 1 m^3

Jenis Mortar	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Bacillus Subtilis</i> (ml)
Mortar Bakteri Sulfat	1551,79	562,04	230,99	20
Mortar Bakteri Air Normal	1551,79	562,04	230,99	20

Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji ini dimulai dengan menimbang semen, agregat halus, air dan bakteri *Bacillus Subtilis* sesuai dengan desain campuran. Material yang telah di timbang lalu dimasukkan ke dalam mesin pengaduk beton agar tercampur dengan kondisi yang baik. Setelah pencampuran selesai, dilakukan uji kelecekan agar mengetahui kemudahan pekerjaan dari campuran mortar. Campuran mortar dimasukkan kedalam cetakan kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm sebanyak 3 lapis setiap lapisan dilakukan 25 kali tusukan. Pengeluaran benda uji dari cetakan dilakukan 1 hari setelah mortar dicetak.

Perawatan Benda Uji

fungsi dari perawatan benda uji yaitu agar reaksi air dan semen dapat berlangsung dengan baik dan sempurna sehingga hasil yang didapat sesuai dengan yang diinginkan.

Pengujian Mortar

Pengujian mortar ini dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari di mana dalam penelitian ini terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanik. Sifat fisik terdiri dari pengujian *sorptivity*, berat satuan, dan porositas. Sedangkan sifat mekanik terdiri dari pengujian kuat tekan mortar.

Pengujian Sorptivity

Pengujian *sorptivity* mortar bertujuan untuk menentukan proses kinerja mortar agar menghasilkan mortar yang bagus dan berkualitas dalam jangka waktu yang panjang dan menentukan tingkat penyerapan air yang masuk ke dalam pori mortar.

Pengujian Berat Satuan

Berat satuan mortar adalah perbandingan antara berat mortar dengan volume yang sangat tergantung dari komposisi material adukan yang telah direncanakan.

Pengujian Porositas

Porositas adalah persentase pori atau ruang kosong dalam mortar terhadap volume mortar. Semakin besar persentase porositas pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya.

Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan mortar adalah kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul mortar persatuan luas. Kuat tekan mortar adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang di hasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-6825-2002).

Pengujian Kuat Tekan dengan Beban Retak Awal

Pengujian uji tekan dilakukan setelah dilakukan perawatan (*Curing*) selama 28 hari dengan diberi pembebanan diawal untuk mortar bakteri. Beban yang diberikan merupakan tegangan awal saat mortar diberi beban. Beban didapat dari nilai *modulus of rupture*. Ketika diberi beban sehingga terjadi retak awal dan nilai pembebanan awal sudah didapat maka beban tadi dikembalikan lagi ke posisi awal yaitu 0 kN. Keretakan pada mortar tidak dapat dilihat sepenuhnya secara visual, karena keretakan terjadi sangat halus yang ada didalam mortar.

Setelah benda uji diberi beban retak awal pada umur 28 hari maka lakukan perendaman kembali hingga umur 56 hari. Setelah umur 56 hari maka pengujian retak hancur dapat dilakukan untuk menentukan nilai akhir dari beban maksimal yang dapat dipikul benda uji dan mengetahui apakah bakteri dapat bekerja dengan baik sebagai *self healing* yang dapat meningkatkan mutu mortar tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Teratak Buluh, Kabupaten Kampar, Riau. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi dari agregat halus. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pengujian	Standar Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis (g/cm ³)			
	a. <i>Apparent specific Gravity</i>	2,65	2,58 - 2,83	Memenuhi
	b. <i>Bulk specific gravity</i> (kering)	2,60	2,58 - 2,83	Memenuhi
	c. <i>Bulk specific gravity (ssd)</i>	2,62	2,58 - 2,83	Memenuhi
	d. Absorption (%)	0,6	< 2,00 %	Memenuhi
2	Kadar air (%)	0,2	< 5,00	Memenuhi
3	Berat volume (kg/m ³)			
	a. Kondisi gembur	1,588	1,400 – 1,900	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,713	1,400 – 1,900	Memenuhi
4	Analisa Saringan	2,36	1,50 - 3,80	Memenuhi
5	Kadar Lumpur (%)	3,2	< 5	Memenuhi
6	Kandungan organik	<i>Organic Plate No. 3</i>		Memenuhi

Berdasarkan Tabel 4 di atas diketahui bahwa agregat halus yang digunakan memiliki berat jenis SSD 2,62 dengan absorpsi sebesar 0,6. Semakin rendahnya nilai *absorpsi* maka akan berpengaruh terhadap gaya lekat antara agregat dan pasta. Nilai kadar air memenuhi standar spesifikasi yaitu 0,2. Berat volume yang diuji pada agregat halus yaitu pada kondisi gembur dan padat dengan masing-masing sebesar 1,588 dan 1,713. Analisa saringan yang diuji pada agregat halus memenuhi standar yaitu 2,36. Pada kadar lumpur didapat nilai sebesar 3,2.

Pengujian terakhir yaitu kandungan organik didapat *organic plate no. 3* sehingga memenuhi standar spesifikasi.

Kajian Visual Perubahan Mortar

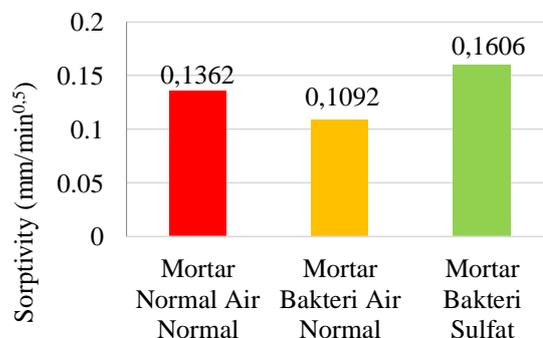
Mortar yang telah dikeluarkan dari cetakan kubus selanjutnya akan direndam sebagai bagian dari perawatan beton. Perawatan beton dilakukan dengan tujuan agar proses hidrasi semen berjalan dengan sempurna. Pada penelitian ini dilakukan perendaman mortar di larutan sulfat dan air normal selama 28 dan 56 hari. Larutan sulfat yang digunakan untuk merendam benda uji dibuat dengan proses pengenceran asam sulfat (H_2SO_4) menjadi larutan sulfat dengan kadar 150 ppm yang termasuk dalam kadar sedang sesuai dengan SNI 2847:2013. Sedangkan Air normal yang digunakan untuk merendam benda uji berasal dari sumur bor yang berada di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Sebelum melakukan perendaman, mortar berwarna abu-abu dan memiliki pori-pori yang kecil. Mortar bakteri rendaman sulfat dan mortar bakteri yang direndam air normal setelah direndam selama 28 hari tidak mengalami perubahan warna maupun pembesaran pori-pori. Namun, setelah direndam selama 28 hari dalam larutan sulfat, beton bakteri mengalami perubahan warna agak kekuningan namun pada permukaan mortar lebih kasar karena pori-pori yang membesar akibat korosi yang berasal dari asam pada larutan sulfat. Pada permukaan mortar mulai terdapat kristal-kristal putih berbentuk jarum. .

Setelah direndam selama 56 hari, mortar bakteri rendaman larutan sulfat dan beton bakteri yang direndam air normal tidak mengalami perubahan warna ataupun pembesaran pori-pori. Namun, mortar bakteri yang direndam air sulfat mengalami perubahan warna menjadi kuning karat di seluruh bagian dan mulai mengalami pengelupasan akibat korosi dari asam. Air perawatan beton yang mengandung unsur kimia agresif sulfat akan merusak beton secara perlahan-lahan mulai dari tepi dan sudut beton dengan terjadinya pelepasan

butir-butir partikel beton dan pengembangan (Purba, 2006).

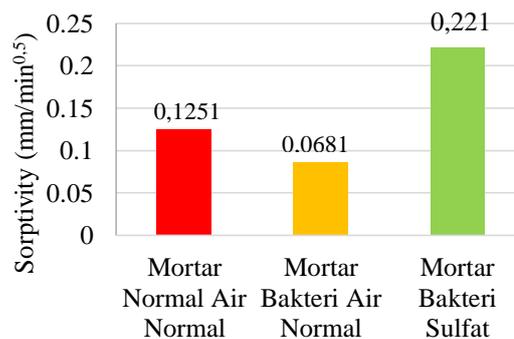
Hasil Pengujian Sorptivity

Tujuan pengujian *sorptivity* untuk mengetahui tingkat kemampuan mortar dalam menyerap air melalui salah satu bidang sisi permukaan mortar. pada pengujian mortar bakteri rendaman larutan sulfat dan mortar bakteri pada rendaman air normal ini dilakukan pada umur 28 dan 56 hari.



Gambar 1. Grafik Nilai Sorptivity Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 1 nilai *sorptivity* pada umur 28 hari mortar normal rendaman air normal adalah 0,1362 mm/min^{0.5}, sedangkan pada mortar bakteri rendaman air normal nilai adalah 0,1092 mm/min^{0.5}, dan pada mortar bakteri rendaman air sulfat adalah 0,1606 mm/min^{0.5}. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai *sorptivity* maka semakin rendah nilai kuat tekan. Nilai *sorptivity* untuk mortar normal rendaman air normal, mortar bakteri rendaman air normal dan mortar bakteri pada rendaman air sulfat pada umur 28 hari berada pada rentang rentang 0,1 mm/min^{0.5}-0,2 mm/min^{0.5}, sehingga hasil masih dapat diterima.



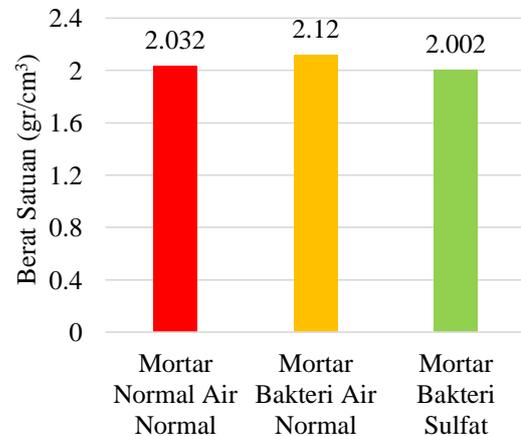
Gambar 2. Grafik Nilai Sorptivity umur 56 hari

Berdasarkan Gambar 2 nilai *sorptivity* pada umur 56 hari mortar normal rendaman air normal pada adalah $0,1251 \text{ mm/min}^{0,5}$, mortar bakteri pada rendaman air normal adalah $0,0861 \text{ mm/min}^{0,5}$, dan mortar bakteri pada rendaman air sulfat adalah $0,221 \text{ mm/min}^{0,5}$. Semakin bertambah umur perawatan mortar pada larutan sulfat maka semakin tinggi pula nilai *sorptivity* yang didapat, hal ini disebabkan oleh asam yang dapat menembus pori-pori dari mortar tersebut sehingga bakteri pada mortar tidak bekerja dengan baik. Berbanding terbalik dengan mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal, semakin lama umur perawatan maka nilainya akan semakin rendah, artinya semakin rendah nilai *sorptivity* maka semakin baik pula kuat tekan yang akan didapat. Nilai *sorptivity* untuk mortar bakteri pada larutan sulfat umur 56 hari berada pada $0,221 \text{ mm/min}^{0,5} > 0,1 \text{ mm/min}^{0,5} - 0,2 \text{ mm/min}^{0,5}$ sehingga mortar bakteri pada lingkungan sulfat dapat di kategorikan tidak baik dan untuk mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal berada pada rentang $< 0,1 \text{ mm/min}^{0,5} - 0,2 \text{ mm/min}^{0,5}$, sehingga pada mortar normal dan mortar bakteri rendaman air normal pada umur 56 hari di kategorikan sangat baik.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* dapat mempengaruhi nilai *sorptivity* karena semakin tinggi nilai *sorptivity* maka semakin rendah pula nilai kuat tekan yang didapat. Pada pengujian ini dapat dilihat nilai *sorptivity* yang didapat rendah pada umur 28 hari sehingga di kategorikan diterima, dan pada umur 56 hari mortar bakteri pada rendaman larutan sulfat di kategorikan tidak baik karena nilai *sorptivity* lebih besar dari rentang yang telah ditetapkan, akan tetapi mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal berada dibawah rentang nilai yang telah ditetapkan yaitu $< 0,1 \text{ mm/min}^{0,5} - 0,2 \text{ mm/min}^{0,5}$ artinya bakteri pada rendaman air normal ini bekerja lebih baik dan dapat meningkatkan mutu mortar.

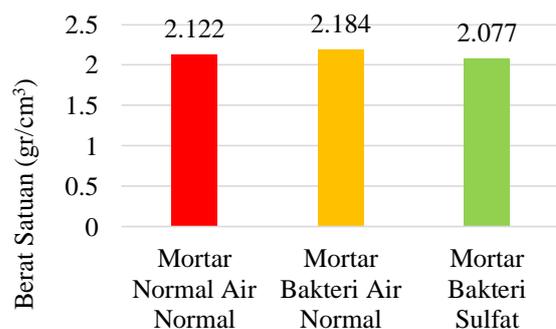
Hasil Pengujian Berat Satuan

Tujuan dari pengujian berat satuan ini adalah untuk menentukan nilai kerapatan dan kepadatan pada mortar. Cara melakukan pengujian ini adalah dengan menimbang berat benda uji setelah di panaskan selama 24 jam. Pada pengujian berat satuan yang dilakukan pada mortar bakteri pada rendaman sulfat dan mortar bakteri pada rendaman air normal ini dilakukan pada umur 28 dan 56 hari.



Gambar 3. Grafik Nilai Berat Satuan Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 3 nilai berat satuan umur 28 hari pada mortar normal rendaman air normal yaitu $2,032 \text{ gr/cm}^3$, nilai berat satuan pada mortar bakteri rendaman air normal senilai $2,12 \text{ gr/cm}^3$, dan nilai mortar bakteri dengan rendaman larutan sulfat yaitu $2,002 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* pada rendaman sulfat menurunkan nilai kerapatan dan kepadatan sehingga bakteri tidak bekerja dengan baik hal ini disebabkan oleh kandungan asam pada sulfat yang dapat merusak pori-pori pada mortar.



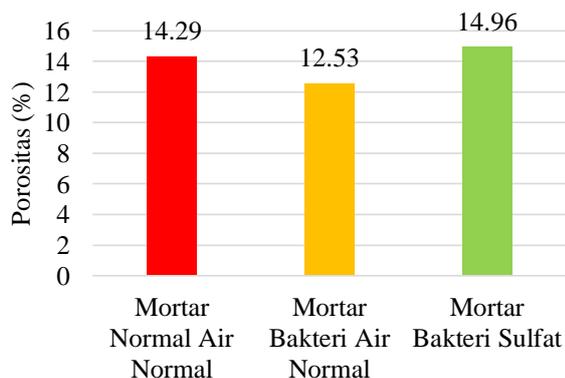
Gambar 4. Grafik Nilai Berat Satuan Umur 56 Hari

Berdasarkan Gambar 4 nilai berat satuan umur 56 hari pada mortar normal rendaman air normal yaitu 2,122 gr/cm³, mortar bakteri rendaman air normal yaitu 2,184 gr/cm³, dan mortar bakteri rendaman sulfat yaitu 2,077 gr/cm³.

Hal ini menunjukkan bahwa bakteri *bacillus subtilis* pada rendaman larutan sulfat tidak bekerja dengan baik sehingga tidak dapat meningkatkan kepadatan dan kerapatan pada mortar.

Hasil Pengujian Porositas

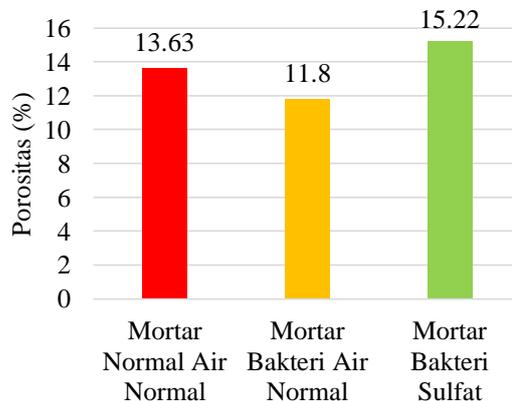
Tujuan dari pengujian porositas ini adalah untuk menentukan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam mortar terhadap volume benda. Semakin besar nilai persentase porositas pada benda uji maka semakin rendah kuat tekan yang didapatkan pada mortar. Semakin kecil nilai persentase porositas yang didapat maka semakin besar kuat tekan yang didapatkan. Pengujian porositas ini dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari yang terdiri dari mortar bakteri pada rendaman sulfat dan mortar bakteri pada rendaman air normal.



Gambar 5. Grafik Nilai Porositas Mortar Umur 28 hari

Berdasarkan Gambar 5 nilai porositas pada mortar normal rendaman air normal yaitu 14,29%, mortar bakteri pada rendaman air normal yaitu 12,53%, dan mortar bakteri rendaman larutan sulfat yaitu 14,96%. Hal ini menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* pada rendaman larutan sulfat memiliki nilai paling besar jika dibandingkan dengan mortar normal rendaman air normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal. Hal ini

disebabkan oleh sifat asam pada larutan sulfat itu sendiri yang menyebabkan kerusakan pada pori-pori mortar sehingga bakteri pada mortar tidak bekerja dengan baik. Jadi semakin kecil persentase pori – pori yang ada didalam mortar bakteri maka semakin bertambahnya nilai kuat tekannya.



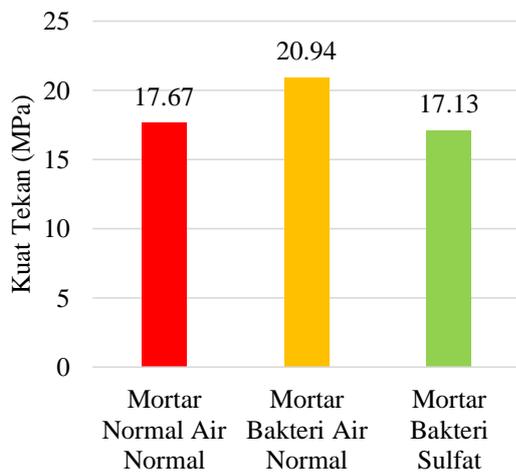
Gambar 6. Grafik Nilai Porositas Mortar Umur 56 Hari

Berdasarkan Gambar 6 nilai porositas mortar normal rendaman air normal yaitu 13,63%, mortar bakteri pada rendaman air normal dengan nilai porositas 11,8% dan mortar bakteri pada rendaman larutan sulfat yaitu 15,22%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur mortar pada rendaman larutan sulfat maka nilai porositasnya mengalami kenaikan, artinya asam yang terdapat pada larutan sulfat ini dapat meningkatkan ruang pori pada mortar sehingga kuat tekannya lebih rendah. Berbanding terbalik dengan mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal nilai porositasnya mengalami penurunan yang artinya kuat tekannya seiring bertambah umur perawatan maka akan semakin baik.

Perbandingan nilai berat satuan mortar normal air normal, mortar bakteri air normal, dan mortar bakteri rendaman sulfat dengan umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 .

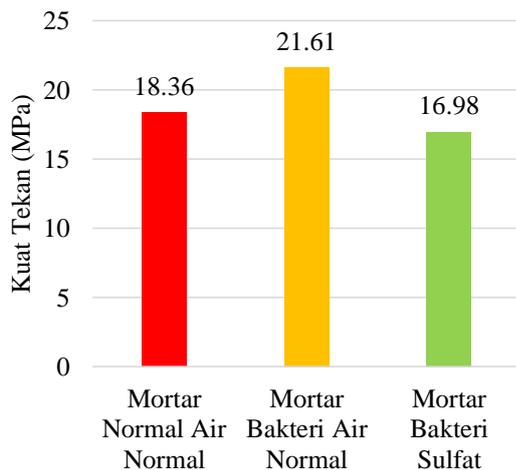
Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar ini dilakukan pada umur 28 hari dan umur 56 hari pada mortar normal rendaman air normal , mortar bakteri rendaman air normal dan mortar bakteri rendaman larutan sulfat.



Gambar 7. Grafik Nilai Kuat Tekan 28 Hari

Berdasarkan Gambar 8 nilai kuat tekan umur 28 hari pada mortar normal rendaman air normal yaitu 17,67 MPa, nilai kuat tekan mortar bakteri pada rendaman air normal yaitu 20,94 MPa dan mortar bakteri rendaman larutan sulfat yaitu 17,13 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* pada rendaman larutan sulfat memiliki kuat tekan mortar lebih rendah daripada mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air normal. Ini disebabkan oleh asam yang terkandung didalam larutan sulfat.



Gambar 8. Grafik Nilai Kuat Tekan 56 Hari

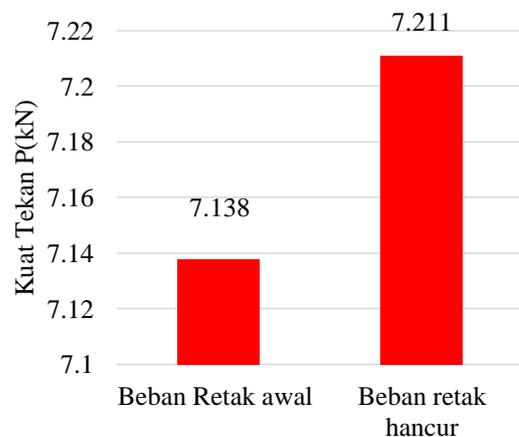
Berdasarkan Gambar 8 nilai kuat tekan mortar bakteri pada rendaman sulfat mengalami penurunan dari umur 28 hari ke umur 56 hari yaitu 18,73 MPa menjadi 16,98 MPa. Berbeda dengan nilai kuat tekan mortar normal dan mortar bakteri rendaman air

normal mengalami kenaikan pada tiap umur perawatannya, yaitu mortar normal dari 17,67 MPa menjadi 18,36 MPa sedangkan mortar bakteri rendaman air normal dari 20,94 MPa menjadi 21,61 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan bahwa mortar yang ditambahkan bakteri *bacillus subtilis* dengan konsentrasi 10^5 cells / 20ml pada rendaman larutan sulfat memiliki kuat tekan mortar yang rendah seiring bertambahnya umur perawatan.

Pengujian Kuat Tekan dengan Beban Retak Awal

Pengujian uji tekan dilakukan setelah dilakukan perawatan (*Curing*) selama 28 hari dengan diberi pembebanan di awal untuk mortar bakteri. Beban yang diberikan merupakan tegangan awal saat mortar diberi beban. Beban didapat dari nilai *modulus of rupture*. Pada saat umur 56 hari mortar di uji kembali untuk mendapatkan nilai tekan hancur mortar.



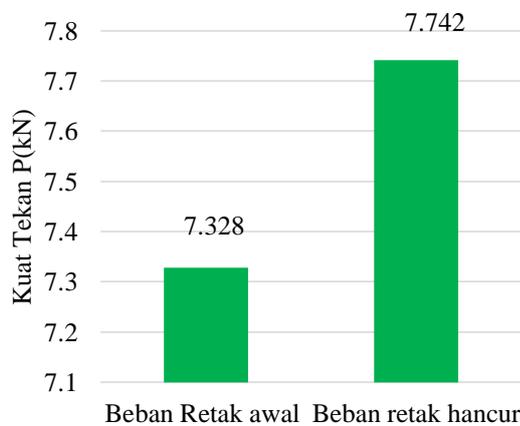
Gambar 9. Grafik Nilai Beban (P) Retak Awal dan Kuat Tekan Hancur Pada Mortar Bakteri Rendaman Larutan Sulfat

Berdasarkan Gambar 9 nilai beban retak awal pada umur 28 hari sebesar 7,138 kN sehingga beban retak awal ini mengalami keretakan yang terjadi sangat halus yang terjadi didalam mortar.

Selanjutnya nilai beban retak hancur didapatkan sebesar 7,211 kN setelah dilakukan pembebanan retak awal kemudian direndam kembali untuk mengetahui beban retak hancurnya pada umur 56 hari. Di sini dapat dilihat secara visual apakah bakteri

yang telah dicampurkan bekerja dengan baik atau tidak, pada larutan sulfat bakteri tetap bekerja namun tidak semaksimal mortar bakteri yang direndam pada air normal.

Berikut hasil nilai bacaan (P) pengujian kuat tekan retak awal dan hancur mortar bakteri pada rendaman air normal dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik Nilai Beban (P) Retak Awal dan Kuat Tekan Hancur Pada Mortar Bakteri Rendaman Air Normal

Berdasarkan Gambar 10 nilai beban retak awal pada umur 28 hari sebesar 7,328 kN sehingga beban retak awal ini mengalami keretakan yang terjadi sangat halus yang terjadi didalam mortar.

Selanjutnya nilai beban retak hancur didapatkan yaitu 7,742 kN setelah dilakukan pembebanan retak awal kemudian direndam kembali untuk mengetahui beban retak hancurnya pada umur 56 hari. Di sini dapat dilihat secara visual apakah bakteri yang telah dicampurkan bekerja dengan baik atau tidak, pada rendaman air normal bakteri bekerja dengan baik, artinya kenaikan yang signifikan antara nilai beban retak awal dan retak hancurnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian *sorptivity*, berat satuan, porositas dan kuat tekan yang telah dilakukan pada mortar normal rendaman air normal, mortar bakteri rendaman air normal dan mortar bakteri rendaman larutan sulfat dengan konsentrasi bakteri 10^5 cells/20 ml, maka dapat disimpulkan :

1. Pada pengujian *sorptivity* umur 28 hari mortar bakteri pada rendaman larutan sulfat mendapatkan hasil yang sangat tinggi yaitu $0,1606 \text{ mm/min}^{0,5}$, akan tetapi masih di kategorikan diterima karena masih termasuk kedalam rentang nilai yang telah ditentukan yaitu $0,1 \text{ mm/min}^{0,5} - 0,2 \text{ mm/min}^{0,5}$. Pada umur 56 hari nilai *sorptivity* mortar bakteri pada rendaman larutan sulfat naik menjadi $0,221 \text{ mm/min}^{0,5}$ sehingga di kategorikan tidak baik karena melebihi rentang nilai yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan oleh larutan asam yang terkandung didalam larutan sulfat sehingga bakteri pada mortar tidak bekerja dengan baik.
2. Pada pengujian berat satuan umur 28 hari mortar bakteri pada rendaman sulfat mendapatkan nilai yang sangat rendah jika dibandingkan mortar normal dan mortar baktri rendaman air normal yaitu $2,002 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan pada umur 56 hari nilai berat satuan pada mortar bakteri larutan sulfat meningkat namun tidak signifikan menjadi $2,077 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini disebabkan oleh asam yang terkandung di dalam sulfat yang mengakibatkan pengeroposan sehingga mengakibatkan kecilnya nilai kerapatan dan kepadatan pada mortar.
3. Pada pengujian porositas umur 28 hari mortar bakteri rendaman sulfat mendapatkan nilai yang sangat tinggi jika dibandingkan mortar normal dan mortar bakteri rendaman air normal yaitu 14,96%. Pada umur 56 hari nilai porositas pada mortar bakteri rendaman sulfat meningkat menjadi 15,22%. Hal ini diakibatkan oleh asam yang terkandung pada larutan sulfat yang mengakibatkan besarnya pori-pori pada mortar seiring lamanya umur perawatan.
4. Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari mortar bakteri rendaman sulfat mendapatkan nilai terendah jika dibandingkan mortar normal dan mortar bakteri rendaman air normal yaitu 17,13 MPa. Pada umur 56 hari kuat tekan mortar bakteri larutan sulfat menurun menjadi 16,98 MPa sedangkan pada mortar normal dan mortar bakteri rendaman air normal

terjadi peningkatan nilai kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh asam yang terkandung di dalam asam yang mengakibatkan bakteri *bacillus subtilis* tidak bekerja dengan baik sehingga tidak meningkatkan nilai kuat tekan.

5. Pengujian retak dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari, pada mortar bakteri rendaman larutan sulfat dan mortar bakteri rendaman air normal. Nilai beban retak awal pada umur 28 hari pada mortar bakteri rendaman larutan sulfat saat beban diberikan terjadi retak awal sebesar 7,138 kN, sedangkan pada mortar bakteri rendaman air normal nilainya sebesar 7,328 kN. Setelah direndam kembali hingga umur 56 hari didapatkan nilai beban retak hancur pada mortar bakteri rendaman larutan sulfat sebesar 7,211 kN, sedangkan pada mortar bakteri dengan rendaman air normal didapatkan nilai sebesar 7,742 kN. Hal ini dapat disimpulkan bahwa mortar bakteri dengan rendaman larutan sulfat pada pengujian retak umur 28 hari dan 56 sedikit mengalami kenaikan karena bakteri tidak bekerja dengan baik, sedangkan pada mortar bakteri rendaman air normal terjadi kenaikan yang signifikan karena bakteri pada rendaman air normal bekerja sangat baik.

Saran

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan di laboratorium selama penelitian, maka penulis dapat mengemukakan beberapa saran yang mungkin dapat digunakan pada penelitian selanjutnya yaitu:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap umur perawatan setelah pengujian retak awal untuk membuktikan pengaruh bakteri terhadap kekuatan mortar dan perbaikan mortar.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap variasi konsentrasi bakteri yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan dan perbaikan mortar.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap air rendaman beton yang bersifat

basa untuk melihat pengaruh bakteri pada kondisi basa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianingtias, K. 2013. Pengaruh Asam Sulfat Terhadap Perubahan Makro Struktur dan Mikro Struktur Beton *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Fanisa Eki G.P., dan Gunawan, T.: Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir dengan w/c 0,60 dan 0,65.
- Istianto, M. M. (2010). Kajian Kuat Desak Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Tambah Metakaolin Dan Srut Aluminium. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Sebelas Maret*.
- Nugraha, Paul dan Antoni. (2007). Teknologi Beton. Andi. Surabaya, Indonesia.
- Nugroho, A., Satyarno, I., & Subyakto. (2015). *Bacteria as self-healing agent in mortar cracks. Journal of Engineering and Technological Sciences, 47(3), 279–295*.
- Purba, P. 2006. Pengaruh Kandungan Sulfat terhadap Kuat Tekan Beton. UNDIP: Jurnal Teknik Sipil PSD III, UNDIP
- Rochani, I., Prasetyo, A., & Kurniawan, A. (2016). Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri (*Bacillus Subtilis*) Sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton. *MGI, 30(1), 49–57*.
- SNI 03-6825-2002. Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15 7064-2004. Semen Portland Komposit.