

SIFAT FISIK DAN MEKANIK MORTAR DENGAN PENAMBAHAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Dian Nanda Islami¹⁾, Zulfikar Djauhari¹⁾, Enno Yuniarto¹⁾

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : dian.nanda2598@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The development of construction technology has progressed quite rapidly, especially in the field of building materials. One form of technological advancement in building materials which has been developing until now is mortar. Mortar is a mixture of cement, fine aggregate, water and stirred until homogeneous. This study used Bacillus Subtilis as an added ingredient by examining it's physical and mechanical properties, as well as an innovation in crack recovery in mortars using bacteria called self healing Mortar. Tests were carried out on normal mortar and bacterial mortar aged 28 and 56 days. The physical properties of the mortar tested were porosity, sorptivity and unit weight, while the mechanical properties tested were compressive strength. The results showed that the porosity value of bacterial mortality was smaller than that of normal mortality at 28 days and 56 days with a value of 12.53% and 11.8%. The results of the bacterial mortar unit weight test showed a greater value than normal mortar at the age of 28 days and 56 days with a value of 2.12 gr / cm³ and 2.184 gr / cm³. The sorptivity test results showed that the value of sorptivity mortar bacteria was lower at the age of 28 days and 56 days compared to normal sorptivity mortar with values of 0.1092 mm / min^{0.5} and 0.0861 mm / min^{0.5}. The compressive strength test results showed that the compressive strength value of bacterial mortar was greater than normal mortar at the age of 28 days and 56 days with values of 20.94 MPa and 21.61 MPa. Based on these data, it can be concluded that the mortar with the addition of bacillus subtilis bacteria is better than normal mortar.

Keyword : Mortar, Bacillus Subtilis, Physical Properties, Mechanical Properties, Self Healing

A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi konstruksi telah mengalami kemajuan yang cukup pesat, terutama pada bidang bahan bangunan. Salah satu bentuk kemajuan teknologi bahan bangunan yang sampai saat ini mengalami perkembangan adalah mortar. Mortar merupakan material struktur yang sangat penting dalam bidang konstruksi mengingat sekarang banyak bangunan yang telah menggunakan beton dan mortar sebagai bahan bangunan, mudah dalam pengerjaan,

Mortar merupakan salah satu bahan campuran dari semen, agregat halus, air dan diaduk sampai homogen. Mortar

merupakan komponen dari beton, diharapkan dengan memperbaiki mutu mortar maka mutu beton dapat ditingkatkan. Mortar mempunyai fungsi penting dalam suatu bangunan seperti pada pekerjaan pondasi, pasang batu bata dan pekerjaan dinding

Adapun fungsi dari mortar adalah sebagai matriks pengikat bagian penyusun konstruksi baik yang bersifat struktural ataupun nonstruktural. Penggunaan mortar untuk konstruksi yang bersifat struktural misalnya penggunaan mortar pada pasangan batu belah untuk struktur pondasi, sedangkan untuk konstruksi yang bersifat non struktural misalnya

penggunaan mortar pada pasangan batu bata untuk dinding plesteran.

Masyarakat masih sering menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan mortar khususnya di wilayah Indonesia. Adapun penambahan penggunaan bahan pengikat lain dalam pembuatan mortar. Salah satunya yaitu dengan penambahan kapur yang berfungsi sebagai bahan ikat mortar yang dapat menaikkan kuat tekan mortar. Oleh karena itu perlu dicoba bahan tambah lain yang fungsinya mirip dengan kapur dan semen portland yang berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengurangi penggunaan semen portland.

Pada saat kejadian gempa di suatu wilayah, banyak bangunan yang mengalami kerusakan atau keretakan. Pada kondisi tersebut perlu dilakukan suatu metode perbaikan atau perkuatan yang mudah dilaksanakan meliputi kemudahan dalam penyediaan material, pelaksanaannya serta mempunyai hasil yang optimal. Untuk mengurangi masalah keretakan atau kerusakan bangunan, maka adanya sebuah inovasi perbaikan yang dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya. Penelitian ini menggunakan bahan tambah bakteri *Bacillus Subtilis* dan inovasi pemulihan keretakan pada mortar dengan menggunakan bakteri disebut *Self Healing Mortar*.

Bakteri *Bacillus Subtilis* dipilih nantinya sebagai bahan tambah yang dapat memulihkan dan menutupi keretakan dengan sendirinya pada mortar. Penelitian sebelumnya dilakukan Alfi *et al* (2019) yang menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* dalam campuran beton. Berdasarkan penelitian tentang bakteri yang dilakukan oleh Priandoko, Djauhari, Yuniarto (2019) campuran beton dengan bahan tambah bakteri *Bacillus Subtilis* dengan konsentrasi 10^5 cells/20 ml, 10^5

cells/25 ml dan 10^5 cells/30 ml, dimana didapatkan volume konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* optimum yaitu 10^5 cells/20 ml. Maka dalam penelitian ini campuran mortar dengan bakteri *Bacillus Subtilis* volume konsentrasi yang digunakan adalah 10^5 cells/20 ml.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Mortar

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu.

Bahan perekat pada mortar dapat berupa tanah liat, kapur maupun semen Portland. Bila tanah liat maka disebut dengan mortar lumpur (*mud mortar*), bila dari kapur disebut mortar kapur, dan begitu pula bila dari semen Portland yang dipakai sebagai bahan perekat maka disebut mortar semen. Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi bahan yang direkat (Tjokrodinuljo, 1996).

B.2 Bahan Penyusun Mortar

B.2.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara membakar secara bersama – sama kapur, silika dan alumina pada suhu $\pm 1500^\circ\text{C}$ yang menjadi klinker. Kemudian klinker-klinker ini didinginkan dan dihaluskan sampai seperti bubuk. Biasanya lalu ditambahkan gips atau kalsium sulfat sebagai bahan pengontrol waktu ikat (Ahmad Antono, 1985).

B.2.2 Agregat Halus

Agregat halus didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolis atau adukan. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan

batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (SK SNI T-15-1991-03).

B.2.3 Air

Air harus bersih dan bebas dari sejumlah minyak, asam, alkali, garam, zat organik atau zat/bahan lainnya yang merusak mortar atau semua logam yang terdapat di dinding. Air adalah bahan penyusun mortar yang digunakan sebagai pereaksi dengan semen.

Menurut (SNI 15-7064-2004) syarat standar air yang digunakan untuk beton adalah :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton tidak mengandung ion klorida lebih dari 0,5 g/l.
3. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 g/l.

B.3 Sifat Fisik Mortar

B.3.1 Porositas

Porositas merupakan persentase volume ruang pori atau ruang sempit dan kecil antara butiran material. Rapat penumpukan dan porositas juga penting, bagian – bagian volume yang berpengaruh atas jumlah air atau pasta semen yang bercampur dengan agregat.

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya porositas yang terdapat pada benda uji. Semakin banyak porositas yang terdapat pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya (Van Vlack, 1994)

Perhitungan nilai porositas mengacu pada ASTM C 642 – 90 dengan persamaan: $n = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\%$ (I)

Dengan:

- n : Porositas benda uji (%)
W₁ : Berat kering oven benda uji (kg)
W₂ : Berat mortar jenuh air setelah pendidihan (kg)
W₃ : Berat mortar dalam air (kg)

B.3.2 Sorptivity

Nilai *sorptivity* ditentukan berdasarkan garis regresi linear dari grafik hubungan antar jumlah air yang diserap persatuan luas permukaan (I) dengan akar waktu hisap (t). Menurut Papworth & Grace (1985) nilai koefisien *sorptivity* di anjurkan kurang dari 0,2 mm/min^{0,5} untuk menjaga kekedapan mortar ataupun beton. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *sorptivity* adalah sebagai berikut.

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

Dimana:

I = jumlah air persatuan luas (gr/mm²)

C = konstanta

S = *sorptivity* (mm/min^{0,5})

t^{0,5} = akar waktu hisap (menit)

B.3.3 Berat Satuan

Pengujian berat satuan dilakukan pada umur pengujian 28 hari dan 56 hari. Pengujian berat satuan mortar dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Bs = \frac{Bm}{Vm} \quad (III)$$

Dimana:

Bs = Berat satuan mortar (gr/cm³)

Bm = Berat mortar (gr)

Vm = Volume mortar (cm³)

B.4 Sifat Mekanik

B.4.1 Kuat Tekan

Kuat tekan mortar merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul mortar persatuan luas. Menurut SNI 03-6825-2002, kuat tekan mortar adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berikut ini adalah rumus kuat tekan mortar:

$$F'c = \frac{P}{A} \quad (IV)$$

Dengan:

$F'c$: kuat tekan mortar (N/mm² atau MPa)

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm²)

Kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh sifat dan jenis bahan penyusunnya. Sifat dan jenis agregat yang digunakan berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan dihasilkan kuat tekan mortar yang tinggi.

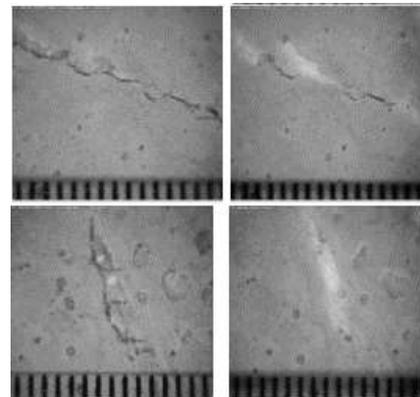
B.5 Self Healing Mortar

Mortar merupakan material penting untuk konstruksi bangunan dan cenderung mengalami retak dibawah tekanan . Bisa jadi tegangan tarik yang ada berasal dari beban luar, deformasi, alkali atau serangan sulfat. Tanpa ada perawatan yang tepat, maka keretakan akan semakin membesar dan membuat biaya perawatan akan semakin mahal.

Mekanisme penyembuhan diri pada keretakan mortar dengan memanfaatkan agregat berpori sebagai mobilisasi bakteri yang pertama kali diperkenalkan oleh jonkers. Dimana penelitiannya menggunakan impregnasi spora bakteri ke dalam media abu terbang untuk melindungi bakteri dalam campuran mortar (Nugroho, Satyarno, & Subyakto, 2015).

Dalam hal penyembuhan retak bakteri tidak dilindungi terhadap pH yang tinggi, karena jumlah penyembuhan retak yang diamati secara visual terbatas di daerah tertentu. Dari mikroskop digital endapan karbonat dapat diamati melapisi celah – celah.

Ketahanan mortar semen, baik digunakan sebagai bahan penyusun beton terhadap kondisi lingkungan yang merugikan melalui sebagai hasil bioproses logis dan alami yang membentuk kalsium karbonat dalam mortar pori – pori atau permukaannya (Tayebani & Mostofinejad, 2019).



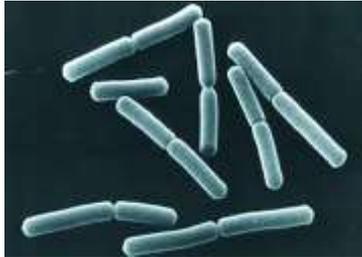
Gambar 1. *Self Healing Mortar*
(Tayebani & Mostofinejad, 2019)

Mortar dengan penambahan jenis bakteri merupakan industri konstruksi bangunan yang ramah lingkungan dibandingkan teknologi konvensional karena dapat melakukan penyembuhan diri sendiri dan merupakan bahan konstruksi yang awet dan juga tahan lama (Sikder & Saha, 2019).

B.6 *Bacillus Subtilis*

Bakteri *Bacillus Subtilis* adalah jenis bakteri yang umum ditemukan di tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi. *Bacillus Subtilis* memiliki kemampuan antibiotik dalam bentuk lipopetida, salah satunya adalah turin, yang berfungsi membunuh mikroorganisme lain atau menurunkan tingkat pertumbuhannya (Higerd, Hoch, & Spizizen, 1972).

Bakteri *Bacillus Subtilis* digolongkan ke dalam kelas bakteri heterotrofik, yaitu protista bersifat uniseluler yang termasuk golongan mikroorganisme redusen atau yang lazim disebut dengan dekomposer. Sebagian besar bakteri laut termasuk dalam kelompok bakteri bersifat heretrofik dan saprofik.



Gambar 2. Bakteri *Bacillus Subtilis* (Jonkers, 2011)

Bacillus Subtilis merupakan sebagai media penyembuhan keretakan pada beton maupun mortar. Bakteri termasuk dalam marga *Bacillus*, dimana salah satu dari enam bakteri penghasil endospora. Endospora tersebut berbentuk oval, bulat, elips atau silinder yang terbentuk di dalam sel vegetatif.

Bentuk *bacillus subtilis* dapat dilihat seperti Gambar 2 yang dilihat menggunakan mikroskop. *Bacillus subtilis* memiliki panjang batang 0,6 - 0,8 μm dan ketebalan 2,0 – 3,0 μm .

Bakteri *bacillus subtilis* bereaksi dengan air dan menghasilkan zat kapur yang merupakan bahan utama dari semen. Zat kapur itu sendiri akan menutupi bagian yang retak pada mortar. Dipilihnya bakteri ini karena dapat berkembang menjadi spora ketika retakan terjadi dan bakteri ini dapat hidup dalam suhu yang cukup tinggi ketika dilakukannya pencampuran mortar.

Bacillus subtilis merupakan bakteri yang termasuk dalam jenis *bacillus*. Bakteri ini merupakan kuman yang berbentuk batang, gram positif, dan memiliki spora fakultatif yang sering ditemukan di tanah, air dan termasuk air laut.

Bacillus subtilis selnya berbentuk basil, ada yang tebal dan yang tipis. Biasanya bentuk rantai atau terpisah. Sebagian motil dan adapula yang non motil. Semua membentuk endospora yang berbentuk bulat dan oval. *Bacillus subtilis* merupakan jenis kelompok bakteri termofilik yang dapat tumbuh pada kisaran suhu 45 °C – 55 °C dan mempunyai pertumbuhan suhu optimum pada suhu 60 °C – 80 °. Sehingga bakteri ini dapat tetap hidup didalam beton

C. Metodologi Penelitian

C.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat halus yang digunakan diperoleh dari Teratak Buluh Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Pengujian karakteristik agregat halus penelitian ini terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat volume, analisa saringan, pemeriksaan kadar lumpur dan pemeriksaan kadar organik

C.2 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Total rencana benda uji adalah 54 sampel dimana 24 sampel mortar normal dan 30 sampel mortar bakteri dengan konsentrasi $10^5 \text{ cells}/20 \text{ ml}$. Pengujian dilakukan pada rendaman (*curing*) air biasa pada umur 28 hari dan 56 hari

Konsentrasi ini dipilih karena dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan Priandoko, Djauhari, Yuniarto *et al* (2019) dimana volume konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* optimum yaitu $10^5 \text{ cells}/20 \text{ ml}$.

Perencanaan dan pelaksanaan pembuatan benda uji dilakukan setelah uji karakteristik material sudah dilakukan. Mutu mortar yang direncanakan yaitu F^c 17,2 MPa. Perhitungan campuran mortar

berdasarkan SNI 03-6825-2002, dengan perbandingan semen : pasir adalah 1 : 3.

Tabel 1. Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pengujian	Mortar normal		Mortar Bakteri Konsentrasi 10 ⁵ cells/20 ml		
	Perawatan				
	28	56	28	56 (Retak)	56
F ^c	3 Benda uji	3 Benda uji	3 Benda Uji	-	3 Benda Uji
Fer	-	-	3 Benda Uji	3 Benda Uji	-
Porositas	3 Benda uji	3 Benda uji	3 Benda Uji	-	3 Benda Uji
Sorptivity	3 Benda uji	3 Benda uji	3 Benda Uji	-	3 Benda Uji
Berat satuan	3 Benda uji	3 Benda uji	3 Benda Uji	-	3 Benda Uji

C.3 Perencanaan Mix Design

Mortar adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, semen dan air. Komposisi campuran yang tepat pada mortar didapatkan dari nilai uji karakteristik material. Perhitungan campuran mortar berdasarkan SNI 03-6825-2002, dengan perbandingan semen : pasir adalah 1 : 3.

Komposisi campuran mortar untuk 1 m³ dengan mutu yang direncanakan f^c 17,2 MPa dapat dilihat pada Tabel 2. Perencanaan campuran penelitian ini mengacu pada standar SNI 03-6825-2002.

Tabel 2. Perencanaan Mix Design

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

C.4 Pengenceran Isolat bakteri *bacillus Subtilis*

Bakteri *Bacillus Subtilis* diperoleh dari laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Bakteri *Bacillus Subtilis* yang dipesan sudah dalam berbentuk media cair karena telah dilakukan proses pengenceran dari bentuk

isolat yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia..

C.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji berdasarkan komposisi dan rencana benda uji yang telah direncanakan. Pelaksanaan pembuatan benda uji dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Riau.

C.6 Perawatan Benda Uji

Setelah lebih kurang 24 jam, maka benda uji dibuka dari cetakan mortar. Kemudian mortar direndam di bak perendaman menggunakan air biasa selama 28 hari dan 56 hari. Adapun fungsi dari perendaman agar proses hidrasi yaitu reaksi air dan semen dapat berlangsung dengan baik dan sempurna sehingga mendapatkan hasil mortar sesuai yang diinginkan.

C.7 Pelaksanaan Pengujian Mortar

C.7.1 Pengujian Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam mortar terhadap volume benda (volume total mortar). Semakin banyak porositas pada benda uji maka semakin rendah kekuatannya. Adapun prosedur pengujian porositas yaitu :

1. Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman
2. Mengeringkan benda uji dengan oven pada suhu 100-110°C selama tidak kurang dari 24 jam, kemudian biarkan sampai dingin di udara kering sampai dengan suhu 20-25°C.
3. Menghitung massa kering oven sebagai W1
4. Melakukan perendaman dalam air kira – kira selama tidak kurang dari 48 jam.
5. Setelah massa perendaman selama 48 jam, maka permukaan benda uji dikeringkan dengan lap kering untuk menghilangkan kelembaban permukaan.
6. Lalu timbang dan mencatat nilai W2

- Setelah penimbangan massa jenuh, kemudian menggunakan penggantung kawat menghitung massa sebenarnya dalam air sebagai W3.

C.7.2 Pengujian Berat Satuan

Berat satuan mortar merupakan perbandingan antara berat mortar dengan volume yang sangat tergantung dari komposisi material adukan yang direncanakan. Adapun prosedur pengujian berat satuan mortar yaitu :

- Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman
- Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu 100-110°C selama tidak kurang dari 24 jam.
- Kemudian biarkan sampai dingin di suhu ruangan.
- Setelah itu timbang berat mortar sebagai Bm.

C.7.2 Pengujian Sorptivity

Pengujian *sorptivity* mortar bertujuan untuk menentukan proses kinerja mortar yang menghasilkan mortar yang bagus dan berkualitas dalam jangka waktu yang panjang dan menentukan tingkat penyerapan air yang masuk ke dalam mortar. Adapun prosedur pengujian *sorptivity* yaitu :

- Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman
- Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu 100-110°C selama tidak kurang dari 24 jam.
- Kemudian, biarkan sampai dingin untuk mncapai suhu ruangan
- Setelah itu letakkan benda uji ke dalam wadah berisi air hingga ketinggian 1-2 mm dibawah permukaan.
- Kemudian, mencatat berat mortar dalam interval waktu 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, dan 240 menit.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik material campuran mortar yang dilakukan adalah pada agregat halus. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	0,2	< 5
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity o SSD</i>	2,65	2,58 – 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	0,60	< 2
3	Berat Volume (gr/cm ³)		
	a. Kondisi Gembur	1,6	1,4 – 1,9
	a. Kondisi Padat	1,7	1,4 – 1,9
4	Modulus Kehalusan	2,63	1,5 – 3,8
5	Kandungan Organik	No. 2	< No.3
6	Kadar Lumpur (%)	3,2	< 5

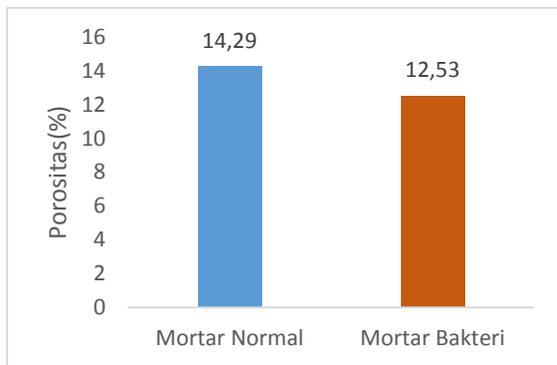
D.2 Hasil Pengujian Porositas

Berdasarkan hasil pengujian nilai porositas pada mortar normal dan bakteri pada umur 28 hari pada rendaman air biasa. Pada gambar menunjukkan nilai porositas pada mortar normal yaitu 14,29 % lebih tinggi daripada mortar bakteri yaitu 12,53 %. Antara nilai porositas umur 28 hari mortar normal dan mortar bakteri memiliki selisih sebesar 1,76 %.

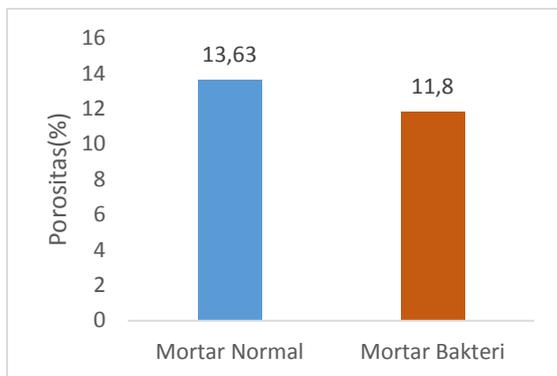
Berdasarkan hasil pengujian nilai porositas nilai porositas pada mortar normal dan mortar bakteri pada umur 56 hari pada rendaman air biasa. Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa nilai porositas yaitu 13,63 % lebih tinggi daripada mortar bakteri dengan nilai porositas 11,8 %. Antara nilai porositas umur 56 hari mortar normal dan mortar bakteri memiliki selisih sebesar 1,89 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya umur mortar maka nilai prositasnya mengalami penurunan dimana nilai porositas mortar bakteri sedikit lebih baik dibandingkan mortar normal. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri berkembang baik di dalam mortar.

Porositas yang terjadi pada mortar umur 56 hari lebih kecil dibandingkan dengan porositas umur 28 hari. Mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* memiliki nilai porositas yang baik daripada mortar normal. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* dapat mengurangi porositas yang ada pada mortar.

Perbandingan nilai porositas mortar normal dengan mortar bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Nilai Porositas 28 Hari



Gambar 4. Nilai Porositas 56 Hari

D.3 Hasil Pengujian Berat Satuan

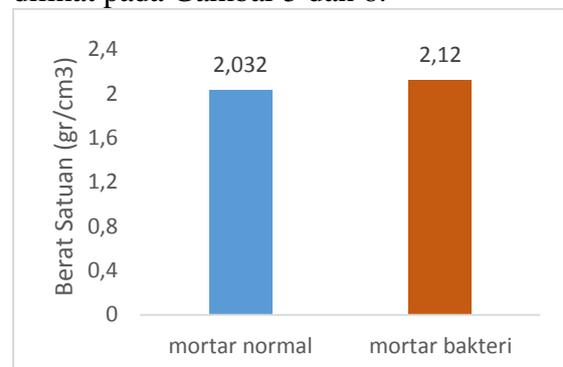
Berdasarkan hasil nilai berat satuan pada mortar bakteri lebih tinggi dibandingkan pada mortar normal. Dimana nilai berat satuan pada mortar bakteri senilai 2,12 gr/cm³ dan nilai berat satuan pada mortar normal senilai 2,032 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan bakteri bacillus

subtilis dapat meningkatkan kerapatan pada mortar.

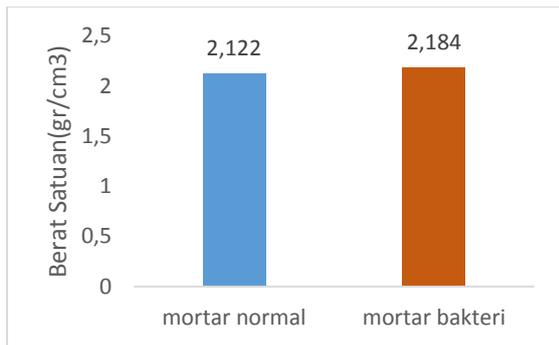
Nilai berat satuan pada mortar normal dan mortar bakteri pada umur 56 hari pada rendaman air biasa. Pada gambar menunjukkan bahwa nilai berat satuan pada mortar normal yaitu 2,122 gr/cm³ lebih rendah daripada mortar bakteri dengan nilai berat satuan yaitu 2,184 gr/cm³. Hal ini menunjukkan nilai berat satuan pada umur 56 hari tidak berbeda jauh dengan umur 28 hari dimana nilai berat satuan pada mortar bakteri lebih tinggi dari nilai berat satuan pada mortar normal.

Grafik nilai berat satuan pada mortar umur 56 hari berbanding lurus dengan nilai kuat tekan pada mortar. Sehingga semakin besar nilai berat satuan pada mortar maka semakin besar nilai kuat tekannya. Tidak berbeda jauh dengan umur 28 hari, umur 56 hari nilai berat satuan pada mortar bakteri lebih besar daripada mortar normal. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* bekerja dengan baik dan dapat meningkatkan kepadatan dan kerapatan pada mortar sehingga hasil yang didapatkan lebih bagus.

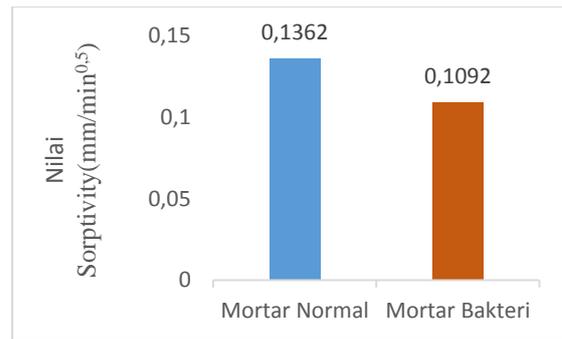
Perbandingan nilai berat satuan mortar normal dengan mortar bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Nilai Berat Satuan 28 Hari



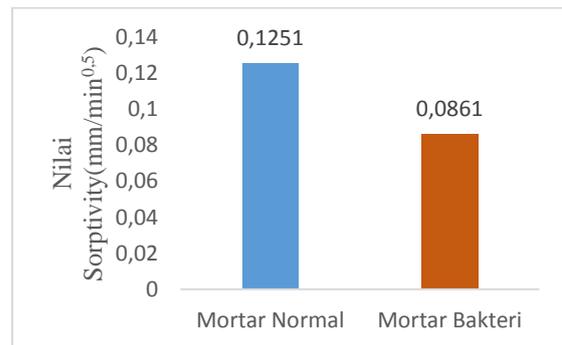
Gambar 6. Nilai Berat Satuan 56 Hari



Gambar 7. Nilai Sorptivity 28 Hari

D.4 Hasil Pengujian Sorptivity

Berdasarkan hasil bahwa nilai *sorptivity* pada mortar normal dengan nilai 0,1362 mm/min^{0,5} dan mortar bakteri dengan nilai 0,1092 mm/min^{0,5}. Hal ini menunjukkan semakin tinggi nilai *sorptivity* maka semakin rendah nilai kuat tekan. Nilai *sorptivity* untuk mortar normal dan bakteri umur 28 hari berada pada rentang rentang 0,1 mm/min^{0,5}-0,2 mm/min^{0,5}, sehingga dapat dikategorikan diterima.



Gambar 8. Nilai Sorptivity 56 Hari

Berdasarkan hasil menunjukkan bahwa nilai *sorptivity* umur 56 hari pada mortar normal dengan nilai 0,1251 mm/min^{0,5} dan mortar bakteri dengan nilai 0,0861 mm/min^{0,5}. Semakin bertambah umur perawatan mortar maka semakin turun nilai *sorptivity* pada mortar normal maupun mortar bakteri dengan penambahan *bacillus subtilis*. Nilai *sorptivity* untuk mortar normal umur 56 hari berada pada rentang rentang 0,1 mm/min^{0,5}-0,2 mm/min^{0,5} dan untuk mortar bakteri berada pada rentang <0,1 mm/min^{0,5}, sehingga pada mortar normal umur 56 hari dapat diterima dan pada mortar bakteri umur 56 hari dikategorikan sangat baik. Pada pengujian ini dapat dilihat nilai *sorptivity* yang didapat rendah pada umur 28 hari dan 56 hari sehingga dikategorikan dapat diterima

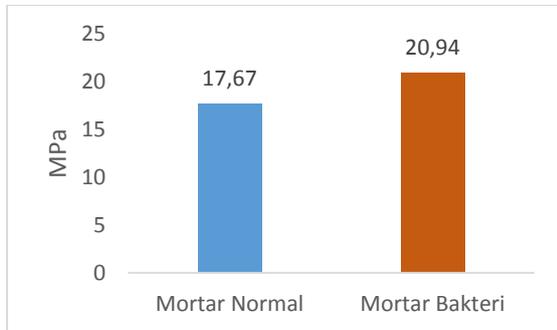
Perbandingan nilai *sorptivity* mortar normal dengan mortar bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

D.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

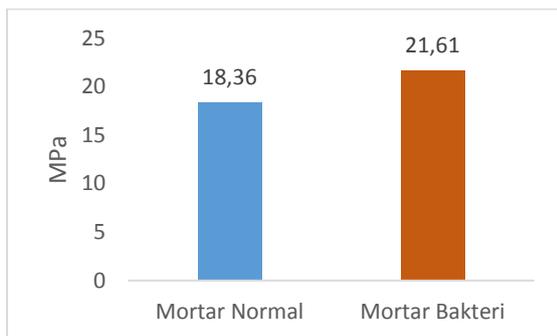
Berdasarkan hasil bahwa nilai kuat tekan pada umur 28 hari pada mortar normal dan mortar bakteri pada rendaman air biasa. Nilai kuat tekan mortar normal umur 28 hari yaitu 17,67 Mpa dan nilai kuat tekan mortar bakteri pada umur 28 hari yaitu 20,94 Mpa. Pada umur 28 hari mortar bakteri mengalami peningkatan sekitar 18,5 % terhadap mortar normal. Bahwa nilai kuat tekan umur 56 mengalami peningkatan dibandingkan nilai kuat tekan umur 28 hari. Dimana nilai kuat tekan mortar normal sebesar 18,36 MPa sebelumnya nilai kuat tekan mortar normal pada umur 28 hari sebesar 17,67 MPa. Kemudian, nilai kuat tekan mortar bakteri mengalami kenaikan sebesar 21,61 MPa sebelumnya nilai kuat tekan mortar pada umur 28 hari sebesar 20,94 MPa. Pada umur 56 hari kuat tekan mortar bakteri mengalami peningkatan 17,70% terhadap mortar normal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama umur mortar maka

semakin besar mutu mortar yang didapatkan terutama mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis*.

Perbandingan nilai kuat tekan mortar normal dengan mortar bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Nilai Kuat Tekan 28 Hari



Gambar 10. Nilai Kuat Tekan 56 Hari

D.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan dengan Beban Retak Awal

Pengujian uji tekan dilakukan setelah direndam selama 28 hari (Tahap 1) dengan diberi pembebanan diawal untuk mortar bakteri. Beban yang diberikan merupakan tegangan awal mortar saat diberi beban. Beban didapat dari nilai *modulus of rupture*. Ketika diberi beban di retak awal (Tahap 1) dan sudah mencapai nilai yang diinginkan maka beban sudah didapat tadi kembalikan lagi ke awal dalam posisi 0 kN. Keretakan pada mortar tidak dapat dilihat sepenuhnya secara visual, karena keretakan terjadi sangat halus yang ada didalam mortar. nilai

beban retak awal pada umur 28 hari didapatkan 7,328 kN dan beban retak awal ini tidak mengalami kehancuran dan keretakannya tidak dapat dilihat secara visual karena keretakan yang terjadi sangat halus yang terjadi didalam mortar. Untuk perhitungan beban retak awal dapat dilihat pada Lampiran 2-E.

Kemudian nilai beban retak hancur didapatkan yaitu 7,742 kN setelah pembebanan retak diawal dan direndam kembali untuk mengetahui beban retak hancurnya di umur 56 hari. Disini dapat dilihat bakteri yang ada di dalam mortar itu bekerja atau memproduksi kapur dengan menutupi keretakan yang ada di dalam mortar.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan seperti porositas, *sorptivity*, berat satuan dan kuat tekan dengan menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* dengan konsentrasi 10^5 cells/ 20 ml pada rendaman air biasa umur 28 hari dan 56 hari, maka dapat disimpulkan :

1. Pengujian porositas didapatkan nilai porositas mortar dengan tambahan bakteri memiliki nilai lebih kecil dibandingkan mortar normal. Pada umur 28 hari didapatkan nilai porositas mortar bakteri sebesar 12,53 % sedangkan mortar normal pada umur 28 hari didapatkan nilai porositas sebesar 14,29 %. Pada umur 56 hari didapatkan nilai porositas mortar bakteri sebesar 11,80 % sedangkan mortar normal pada umur 56 hari diapatkan nilai porositas 13,63%.
2. Nilai berat satuan mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* lebih besar dibandingkan mortar normal. Pada umur 28 hari didapatkan nilai berat satuan mortar bakteri sebesar $2,120 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan mortar normal didapatkan nilai berat satuan sebesar $2,032 \text{ gr/cm}^3$. Pada

- umur 56 hari nilai berat satuan pada mortar bakteri dan normal mengalami kenaikan sebesar $2,184 \text{ gr/cm}^3$ dan $2,122 \text{ gr/cm}^3$.
3. Pada umur 28 hari didapatkan nilai *sorptivity* mortar bakteri sebesar $0,1092 \text{ mm/min}^{0,5}$ sedangkan nilai *sorptivity* mortar normal sebesar $0,1362 \text{ mm/min}^{0,5}$. Pada umur 56 hari nilai *sorptivity* mortar bakteri sebesar $0,0861 \text{ mm/min}^{0,5}$ dan mortar normal nilai *sorptivity* sebesar $0,1251 \text{ mm/min}^{0,5}$. Nilai *sorptivity* mortar bakteri dan normal pada umur 28 hari dan 56 hari berada pada rentang $0,1 \text{ mm/min}^{0,5}$ - $0,2 \text{ mm/min}^{0,5}$. Sehingga dapat dikatakan pada kategori baik.
 4. Nilai kuat tekan mortar dilakukan pada mortar dengan penambahan bakteri *bacillus subtilis* dan mortar normal. Nilai kuat tekan mortar bakteri pada umur 28 hari sebesar $20,94 \text{ Mpa}$ sedangkan pada mortar normal nilai kuat tekannya sebesar $17,67 \text{ Mpa}$. Pada umur 56 hari mengalami kenaikan pada mortar bakteri dan mortar normal yaitu sebesar $21,61 \text{ MPa}$ dan $18,36 \text{ MPa}$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bakteri *bacillus subtilis* membuat nilai kuat tekan menjadi bagus.
 5. Pengujian retak dilakukan pada pengujian uji tekan dimana pengujian ini dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari. Nilai beban retak awal pada umur 28 hari saat diberikan beban retak awal yaitu $7,328 \text{ kN}$ sedangkan pada umur 56 hari setelah dilakukan perendaman kembali selama 28 hari didapatkan nilai beban retak hancur yaitu $7,742 \text{ kN}$.

E.2 Saran

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

1. Menambah umur perawatan mortar untuk melihat bakteri lebih efektif

bekerja, karena seiring bertambahnya umur maka semakin bagus.

2. Menambah variasi konsentrasi bakteri dalam campuran mortar.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai penelitian bakteri ini agar hasil yang didapatkan lebih baik.

Daftar Pustaka

- Higerd, T. B., Hoch, J. A., & Spizizen, J. (1972). *Hyperprotease-producing mutants of Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*, *112*(2), 1026–1028.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2004). *Semen portland komposit*.
- Jonkers, H. M. (2011). *Bacteria-based self-healing concrete*. *56*(1), 1–12.
- Maskur, Satyarno, I (2017). Perancangan campuran flow mortar untuk pembuatan *self healing compacting concrete* dengan FAS 0,5
- Nugroho, A., Satyarno, I., & Subyakto. (2015). *Bacteria as self-healing agent in mortar cracks*. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, *47*(3), 279–295.
- Papworth, & Grace. (1985). *Designing for concrete durability in marine envions*. *Concrete 85*. Brisbane: *Concrete Institute of Australia*.
- Priandoko, Djauhari,Z. & Yuniarto, E. (2019) Pengaruh variasi volume konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap sifat fisik beton
- Safi. B, Saidi M. (2015). *The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM)*
- Sikder, A., & Saha, P. (2019). Effect of bacteria on performance of concrete/mortar: A review. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, *7*(6C2),

- 12–17.
(SII-0013-1981), *Standar Industri Indonesia*
- SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar.*
- SNI 03-4804-1998. (1998). Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–6.
- SNI 03-6882-2002. (2002). Spesifikasi mortar untuk pekerjaan pemasangan. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–8.
- SNI 03-6825-2002. Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil
- SNI 03-1968-1996. 1996. “Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No.200 (0.075 mm).”: *Badan Standardisasi Indonesia*:
- SNI 03-1970-1990. 1990. “Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus.”:
- SNI 03-1971-1990. 1990. “Metode Pengujian Kadar Air Agregat.”:
- SNI 03-2616-1992. 1992. “Metode Pengujian Kotoran Organik Dalam Pasir Untuk Campuran Mortar Dan Beton.”:
- SNI 03-4142-1990. 1990. “Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar.” *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*: 1–17.
- SNI 03-4804-1998. 1998. “Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat.” *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*: 1–6.
- SNI 04-19889-F. 1989. “Agregat Halus Untuk Bangunan.
- Tayebani, B., & Mostofinejad, D. (2019). Self-healing bacterial mortar with improved chloride permeability and electrical resistance. *Construction and Building Materials*, 208(March), 75–86.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil UGM
- Tjokrodinuljo, K. (1997). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil UGM.
- Tjokrodinuljo, K. (2012). *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil UGM