

PENGUNAAN CAMPURAN BAKTERI *SUBTILIS* DAN AIR KELAPA SEBAGAI AGENT SELF-HEALING UNTUK PENINGKATAN SIFAT MEKANIS MORTAR

Ester Priskasari¹, Yuwan Abdiel Zaim Labib² Siswi Astuti³

Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang^{1,2}

Prodi Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang³

Alamat : Jalan Sempu No. 6, Kecamatan Sukun, Kota Malang

E-mail: esterpriskasari@gmail.com

ABSTRAK

Mortar merupakan salah satu bahan bangunan yang digunakan dalam dunia konstruksi. Mortar dapat digunakan untuk komponen struktur maupun komponen nonstruktur dari bangunan. Mortar memiliki sifat mekanis, yakni kuat tekan dan kuat lentur. Kekuatan lentur dari mortar lebih rendah daripada kekuatan tekannya. Angka pori pada mortar juga sangat besar, sehingga rentan mengalami keretakan. Inovasi mortar menggunakan campuran bakteri *bacillus subtilis* diharapkan akan meningkatkan sifat mekanis mortar tersebut. Bakteri *bacillus subtilis* merupakan mikroba yang mampu memproduksi kalsium karbonat dan mampu hidup pada suhu 10°C-47°C. Kalsium karbonat tersebut akan mengisi pori dan celah pada mortar, sehingga kekuatannya mengalami peningkatan. Pada penelitian ini menggunakan benda dengan persentase campuran bakteri 0%, 25% dan 40% dari kebutuhan air. Metode *curing* yang digunakan pada penelitian ini yakni direndam dengan air dan dibiarkan pada suhu ruang dan pengujian dilakukan setelah 28 hari. Hasil dari pengujian mortar kontrol 0% campuran bakteri dengan metode *curing* direndam dalam air, mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 11,33 MPa. Pada pengujian mortar yang diberi campuran bakteri *bacillus subtilis* dengan metode perawatan dibiarkan pada suhu ruang sebanyak 25%, kuat tekan mortar mengalami penurunan dari kontrol dengan nilai kuat tekan sebesar 7,87 MPa. Untuk campuran *bacillus subtilis* sebesar 40% mendapat nilai kuat tekan 13,46 MPa atau meningkat 1,13%. Sedangkan perawatan benda uji direndam, mortar mengalami keretakan dan hancur. Hal ini terjadi karena mortar belum mengikat secara sempurna dalam reaksinya. Hasil penelitian ini didapatkan campuran bakteri *bacillus subtilis* yang terbaik digunakan sebesar 40%.

Kata kunci: mortar, kuat tekan, *bacillus subtilis*, kalsium karbonat

ABSTRACT

Mortar is one of the building materials used in construction. Mortar can be used for structural and nonstructural components of buildings. Mortar has mechanical properties, namely compressive strength and flexural strength. The flexural strength of mortar is lower than its compressive strength. The number of pores in mortar is very large, so it is prone to cracking. Innovation of mortar using a mixture of *Bacillus subtilis* bacteria is expected to improve the mechanical properties of the mortar. *Bacillus subtilis* bacteria are microbes that can produce calcium carbonate and can live at temperatures of 10°C-47°C. The calcium carbonate will fill the pores and gaps in the mortar, increasing its strength. This study used objects with a percentage of bacteria mixture of 0%, 25%, and 40% of the water requirement. The curing method used in this research is soaked with water and left at room temperature and testing was carried out after 28 days. The results of testing the control mortar 0% bacterial mixture with the curing method soaked in water, got a compressive strength value of 11.33 MPa. In testing mortar was given a mixture of *bacillus subtilis* bacteria with the treatment method left at room temperature as much as 25%. The compressive strength of the mortar decreased from the control with a compressive strength value of 7.87 MPa. For the mixture of *bacillus subtilis* at 40%, the compressive strength value was 13.46 MPa or increased by 1.13%. While the treatment of the test specimens was soaked, the mortar cracked and crumbled. This happens because the mortar has not been binding perfectly in the reaction. The results of this study obtained the best mixture of *bacillus subtilis* bacteria used at 40%.

Keywords: mortar, compressive strength *bacillus subtilis*, calcium carbonate

PENDAHULUAN

Pembangunan yang ada di Indonesia saat ini sangat pesat. Hal ini berbanding lurus dengan

kebutuhan material bangunan yang ada. Penggunaan beton dalam dunia konstruksi sangatlah banyak. Hal ini terjadi karena beton dalam pengaplikasiannya sangat mudah (*workability*),

perawatan (*maintenance*) murah dan material penyusunnya mudah didapat.

Selain beton terdapat mortar yang digunakan dalam konstruksi bangunan. Mortar semen merupakan campuran anatar pasir kwarsa, air suling dan semen portland dengan komposisi tertentu (SNI-03-6825-2002). Mortar dalam konstruksi digunakan sebagai pemasangan struktur maupun nonstruktur bangunan. Pemasangan komponen struktur bangunan menggunakan mortar dilakukan pada pemasangan pondasi batu kali. Sedangkan untuk komponen nonstruktur dilakukan pada pemasangan dinding bata dan plesteran. Selain itu mortar bisa dimanfaatkan pada dunia industri seperti pembuatan genteng, paving, batako dan lain-lain.

Mortar dan beton memiliki sifat mekanis yakni kuat tekan dan kuat lentur. Kekuatan tekan pada mortar sangatlah besar dibandingkan dengan kekuatan lenturnya (Gumelar As'at & Nuraini, 2020). Kemudian mortar juga memiliki angka pori yang sangat besar. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dari mortar sehingga mudah mengalami keretakan (Rizal dkk., 2021). Untuk memperkecil dampak tersebut muncul berbagai inovasi yang digunakan dalam pembuatan mortar, sehingga kinerja mortar dapat bekerja secara maksimal terhadap kuat tekannya.

Penggunaan bakteri *bacillus subtilis* dalam pencampuran mortar dimaksudkan untuk memperkuat sifat mekanis dari mortar. *Bacillus subtilis* dapat hidup pada kondisi ekstrim seperti pada semen, sehingga memungkinkan untuk diterapkan sebagai campuran mortar. Penelitian yang dilakukan (Jonkers dkk., 2010) menjelaskan bahwa bakteri *bacillus subtilis* mampu memproduksi kalsium karbonat yang dapat mengisi pori-pori dan retakan pada mortar. Penelitian lain menunjukkan di dalam bakteri tersebut terkandung senyawa kimia yang dapat menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3). Senyawa tersebut digunakan mortar untuk menutup pori-pori. (Arfa dkk., 2018; Herlambang & Saraswati, 2017; Setiawan dkk., 2023)

Bakteri *bacillus subtilis* adalah bakteri mesofil yang mampu hidup pada suhu $10\text{ }^\circ\text{C} - 47\text{ }^\circ\text{C}$ (Elisa dkk., 2018). Tetapi untuk pertumbuhan optimum dari bakteri *bacillus* pada suhu $25\text{ }^\circ\text{C} - 35\text{ }^\circ\text{C}$ (Rizal dkk., 2021). Berikut tabel karakteristik bakteri *bacillus subtilis* :

Tabel 1. Karakteristik *Bacillus Subtilis*

Karakteristik	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>
Bentuk	Batang (tebal maupun tipis), rantai maupun Tunggal
Gram	Positif
Sumber	Tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi
Berdasarkan spora	Bakteri penghasil <i>endospore</i>
Respirasi	Aerob obligat
Pergerakan	Motif dengan adanya flagella
Suhu pertumbuhan optimum	$25\text{ }^\circ\text{C} - 35\text{ }^\circ\text{C}$

Karakteristik	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>
pH pertumbuhan optimum	7-8 (netral)
Katalase	positif

Sumber : (Rizal dkk., 2021)

METODE

Berikut merupakan beberapa metode yang dilakukan pada penelitian ini.

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang.

B. Alat Penelitian

1. Saringan no. 4 dan no. 200
2. Cetok
3. Mixer
4. Cawan
5. Sendok
6. Mangkok
7. Baskom
8. Jangka sorong
9. Timbangan
10. Cetakan kubus $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$
11. Mesin uji leleh (*flow table*)
12. Bak *curing* mortar

C. Komposisi Campuran Mortar

1. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir merupakan salah satu material yang digunakan dalam campuran mortar. Agregat halus yang digunakan berukuran $0,063\text{ mm} - 4,75\text{ mm}$ atau saringan No. 4 (SNI 1970-2008). Dalam penelitian ini pasir yang digunakan adalah jenis pasir lumajang.

2. Semen

Semen merupakan salah satu komponen perekat pada mortar. Mortar yang digunakan adalah Tipe 1 produk dari Semen Gresik. Semen tipe 1 digunakan karena tidak memiliki persyaratan khusus sesuai dengan (SNI-15-2049-2004).



Gambar 1. Semen Tipe 1 (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3. Air

Air adalah material penting dalam pencampuran mortar. Air berfungsi sebagai pencampur antara semen dan pasir. Air yang digunakan harus tidak mengandung zat organik atau bahan yang tidak dapat

merusak komponen beton maupun mortar (SNI 7974-2013).

4. Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bakteri ini digunakan untuk menghasilkan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat mengisi pori-pori mortar. Untuk menghasilkan kalsium karbonat yang melimpah, maka perlu ditambahkan dengan komponen pendukung (Setiawan dkk., 2023).



Gambar 2. *Bacillus Subtilis* (Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 3. Proses Pembentukan Kalsium Karbonat Oleh Bakteri *Subtilis* (Sumber :Tyagi & Yadav, 2019)

5. Komponen Pendukung

Komponen pendukung yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan bakteri *bacillus subtilis* adalah CaCl_2 dan urea. Nantinya senyawa CaCl_2 menghasilkan Ca^{2+} yang digunakan untuk pembentukan kalsium karbonat (CaCO_3) (Junaidi dkk., 2022; Linda dkk., 2022; Mahmood dkk., 2022; Syarif dkk., 2020). Urea digunakan sebagai katalisator yang akan menghidrolisis urea sehingga menghasilkan ammonia dan karbon dioksida (Herlambang & Saraswati, 2017).



Gambar 4. Urea (Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 5. CaCl_2 (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

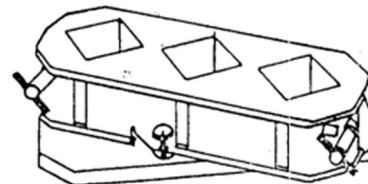
Nutrisi yang digunakan sebagai makanan *bacillus subtilis* adalah air kelapa. Penggunaan air kelapa untuk bakteri ini sangat optimum dibandingkan dengan limbah makanan lain (Abna, 2018)

Tabel 2. Komposisi Mortar

Persentase	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Campuran Bakteri (gr)
0%	1500	500	250	0
25%	1500	500	188	62
40%	1500	500	150	100

D. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pada penelitian yang dilakukan komposisi mix design mortar yang digunakan adalah 1 semen : 3 pasir.

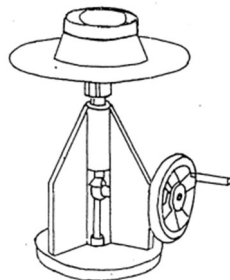


Gambar 6. Cetakan Mortar Kubus (Sumber : SNI-03-6825-2002)

Berikut adalah langkah-langkah pembuatan benda uji menurut (SNI-03-6825-2002) :

1. Tuangkan air dan campuran bakteri *bacillus subtilis* ke dalam mangkok pengaduk dengan komposisi yang sudah ditentukan.
2. Tuangkan semen ke dalam mangkok pengaduk kemudian hidupkan mesin pengaduk selama 30 detik.
3. Masukkan pasir yang sudah ditakar ke dalam mangkok pengaduk. Setelah itu aduk selama 30 detik.
4. Lakukan pengujian leleh dengan cara sebagai berikut :
 - a. Pasang cincin leleh di atas meja leleh.
 - b. Masukkan adonan mortar sebanyak 2 lapis, setiap lapis dipadatkan sebanyak 20 kali tumbukan.
 - c. Angkat cincin mortar, kemudian hidupkan mesin uji leleh. Hitung getaran meja leleh hingga 25 kali.

- d. Ukur diameter dari adonan pada 4 sisi yang berbeda. Diameter rata-ratanya 1,00 – 1,15 kali dari diameter semula.
- e. Jika diameter tidak memenuhi, ulangi pekerjaan diatas 1 – 4.
5. Kemudian aduk kembali mortar yang sudah diuji leleh selama 15 detik.
6. Masukkan adonan mortar ke cetakan kubus sebanyak 2 lapis. Setiap lapisan dipadatkan sebanyak 32 kali tumbukan.
7. Ratakan permukaan cetakan. Kemudian tunggu hingga 24 jam. Setelah 24 jam buka cetakan mortar.
8. Lakukan *curing* mortar selama 28 hari.



Gambar 7. Meja Uji Leleh (*Flow Table*) (Sumber : SNI-03-6825-2002)

Tabel 3. Sampel dan Populasi Mortar

Persentase	Perawatan		Jumlah Sampel
	Rendam	Suhu Ruang	
0%	3	-	3
25%	3	3	6
40%	3	3	6
Total Benda Uji			15

E. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dalam penelitian ini ada 2 (dua) yakni direndam dengan air dan dibiarkan pada suhu ruang. Perawatan benda uji dilakukan selama 28 hari. Menurut (SNI 2493-2011), perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan :

1. Benda uji diletakkan di tempat yang lembap.
2. Benda uji dilepas dari cetakan setelah 24 ± 8 jam setelah pencetakan.
3. Melakukan *curing* benda uji selama 28 hari.



Gambar 8. *Curing* Mortar Dengan Air



Gambar 9. *Curing* Mortar Dibiarkan Pada Suhu Ruang

F. Pegujian Tekan Mortar

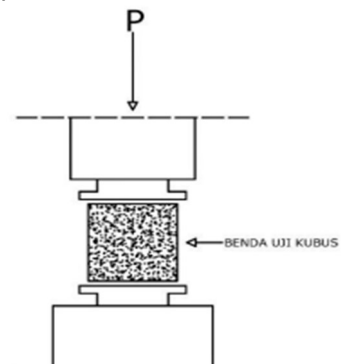
Setelah dilakukan perawatan selama 28 hari, benda uji diangkat dan diuji menggunakan mesin uji tekan (*compression test machine*). Kuat tekan adalah kemampuan benda uji yang menahan beban tegak lurus (SNI-03-6825-2002). Kuat tekan mortar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Kuat Tekan Mortar} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan :

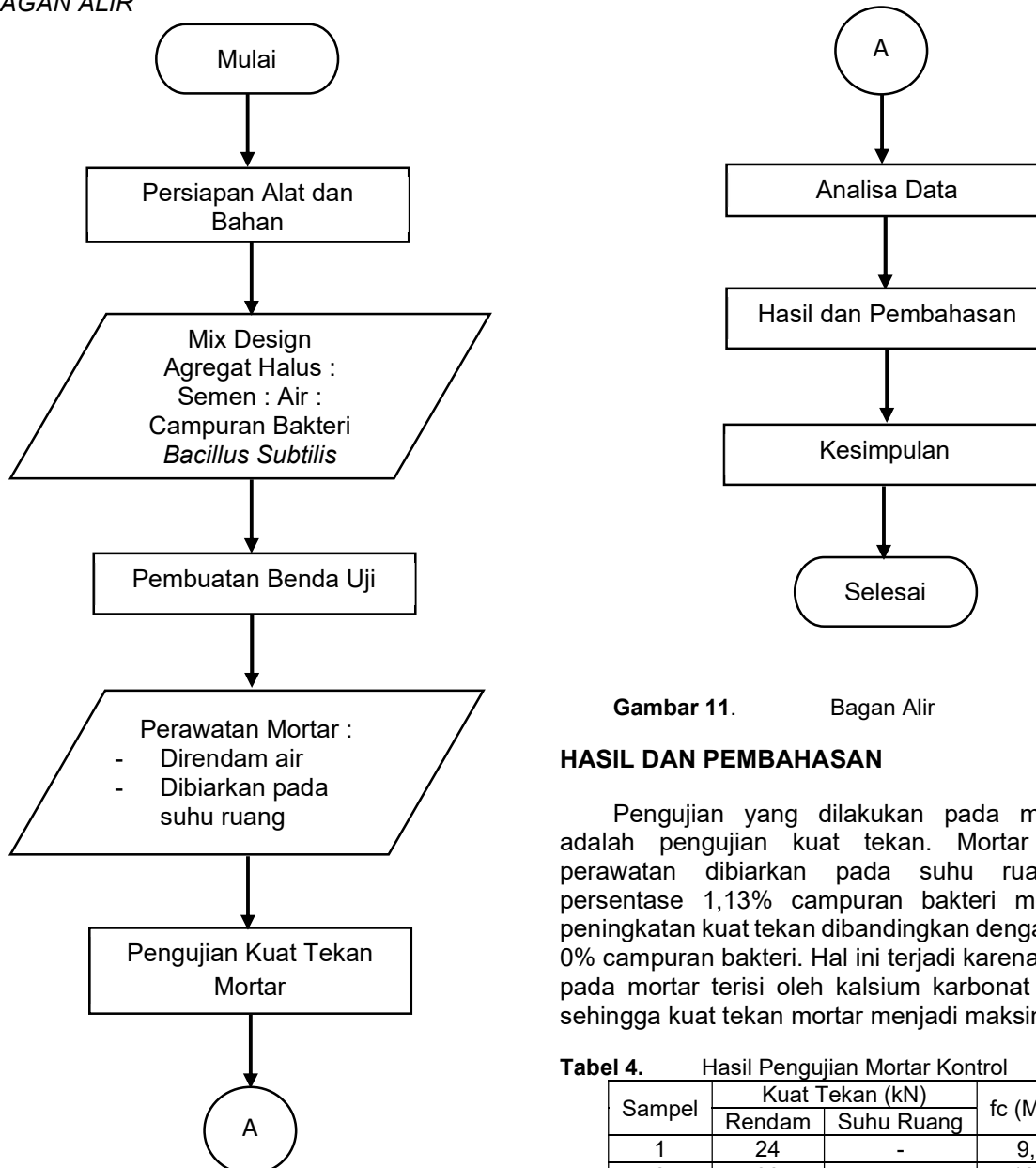
P = beban tekan (kN)

A = luas penampang mortar (mm²)



Gambar 10. Skema Uji Tekan (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

G. BAGAN ALIR



Gambar 11. Bagan Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan pada mortar ini adalah pengujian kuat tekan. Mortar dengan perawatan dibiarkan pada suhu ruang dan persentase 1,13% campuran bakteri mengalami peningkatan kuat tekan dibandingkan dengan mortar 0% campuran bakteri. Hal ini terjadi karena pori pori pada mortar terisi oleh kalsium karbonat (CaCO₃) sehingga kuat tekan mortar menjadi maksimal.

Tabel 4. Hasil Pengujian Mortar Kontrol

Sampel	Kuat Tekan (kN)		fc (MPa)
	Rendam	Suhu Ruang	
1	24	-	9,6
2	30	-	12,0
3	31	-	12,4



Gambar 12.. Pengujian Mortar Kontrol

Tabel 5. Hasil Pengujian Mortar 25% Campuran Bakteri

Sampel	Kuat Tekan (kN)		fc (MPa)
	Rendam	Suhu Ruang	
1	-	20	8,0
2	-	20	8,0
3	-	18	7,2



Gambar 13.. Pengujian Mortar Campuran Bakteri 25%

Tabel 6. Hasil Pengujian Mortar 40% Campuran Bakteri

Sampel	Kuat Tekan (kN)		fc (MPa)
	Rendam	Suhu Ruang	
1	-	33	13,2
2	-	32	12,8
3	-	31	12,4

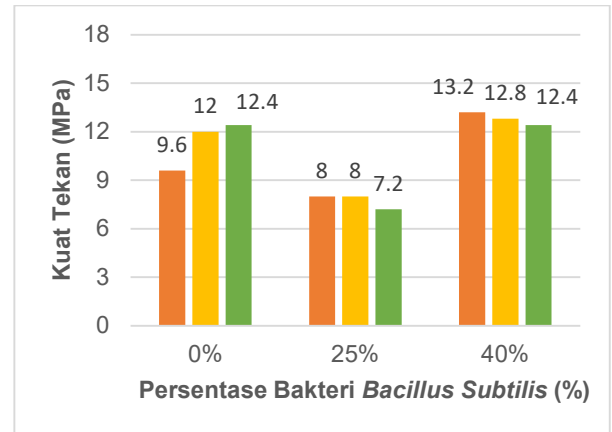


Gambar 14. Pengujian Mortar Campuran Bakteri 40%

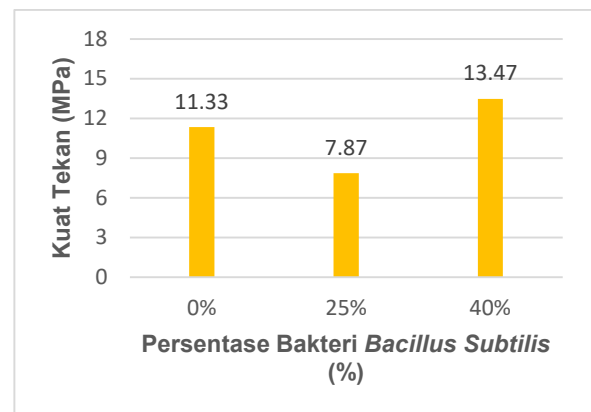
Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Rata-Rata

Persentase	Kuat Tekan (kN)		fc (MPa)
	Rendam	Suhu Ruang	
0%	28,33	-	11,33
25%	-	19,67	7,87
40%	-	32	13,46

Dari tabel 7 di atas, pengujian dengan menggunakan mesin uji tekan (*compression test machine*) menunjukkan bahwa campuran mortar dengan persentase 0% atau kontrol mendapat beban maksimum rata-rata sebesar 28,33 kN. Untuk campuran bakteri *bacillus subtilis* persentase 25% mengalami penurunan nilai kuat tekan dengan beban rata-rata sebesar 19,67 kN. Sedangkan untuk persentase 40% mengalami peningkatan terhadap kuat tekannya. Beban yang diterima oleh sampel dengan persentase tersebut rata-rata sebesar 32 kN.



Gambar 15. Kuat Tekan Mortar



Gambar 16. Kuat Tekan Mortar Rata-Rata

Untuk mortar dengan perawatan direndam air mengalami pecah pada hari ke-dua perendaman. Hal ini terjadi karena mortar belum mengikat secara sempurna. Kandungan senyawa pada campuran bakteri bereaksi dengan senyawa yang terdapat pada semen seperti kalsium hidroksida, kalsium aluminat hidrat dan monosulfat hidrat yang menyebabkan tegangan mortar ketika direndam di dalam air sehingga mortar mengalami pecah (Rizal dkk., 2021).



Gambar 17. Mortar Campuran Bakteri Dengan Metode Curing Perendaman Pada Air



Gambar 18. Mortar Campuran Bakteri Dengan Metode Curing Perendaman Pada Air

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Mortar campuran bakteri *bacillus subtilis* 40% dengan perawatan dibiarkan pada suhu ruang mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 1,13% atau sebesar 13,46 MPa dibandingkan dengan mortar tanpa penambahan campuran bakteri sebesar 11,33 Mpa.

Hal ini terjadi karena pori-pori pada mortar terisi oleh kalsium karbonat (CaCO_3) yang dihasilkan oleh *bacillus subtilis* dan komponen pendukungnya. Semakin tinggi persentase campuran bakteri yang digunakan, semakin tinggi nilai kuat tekan mortar yang diterima.

Mortar dengan perawatan direndam pada air mengalami pecah. Hal ini terjadi karena mortar belum mengikat secara sempurna. Kandungan senyawa pada campuran bakteri bereaksi dengan senyawa yang terdapat pada semen seperti kalsium hidroksida, kalsium aluminat hidrat dan monosulfat hidrat yang menyebabkan tegangan mortar ketika direndam di dalam air sehingga mortar mengalami pecah. Kejadian ini menjadi bahan evaluasi untuk penelitian yang akan datang untuk mencari metode perawatan yang lebih baik.

B. SARAN

1. Dibutuhkan metode perawatan lain agar mortar dapat bekerja secara maksimal terhadap sifat mekanisnya
2. Menambah variasi persentase penggunaan bakteri *bacillus subtilis*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian. Terima kasih kepada Asisten Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memfasilitasi dalam penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Sipil dan Program Studi Teknik Kimia yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abna, I. M. (2018). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Sebagai Substrat oleh *Bacillus Subtilis* Atcc 6051 untuk Produksi Antibiotika. *Jakarta Jalan Arjuna Utara*, 15(9), 339–348.
- Anonim. (2002). SNI 03-6825-2002 tentang Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.
- Anonim. (2004). SNI-15-2049-2004 tentang Semen Portland.
- Anonim. (2008). SNI 1970-2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- Anonim. (2011). SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Pembuatan dan perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.
- Anonim. (2013). SNI 7974-2013 tentang Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis.
- Arfa, W., Djauhari, Z., & Yuniarto, E. (2018). Sifat Fisik Beton Pulih Mandiri Dengan Memanfaatkan Bakteri *Bacillus Subtilis*. *Jurnal Online Mahasiswa*, 5(2), 1–8.
- Elisa, N., Djauhari, Z., & Yuniarto, E. (2018). Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri *Bacillus Subtilis* Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri. *Jurnal Online Mahasiswa*, 5(2), 1–6.
- Gumelar As'at, F., & Nuraini, R. (2020). Bakteri *Bacillus Subtilis* Sebagai Agen Self Healing Concrete Dengan Variasi Presentase dan Nilai PH. *Jurnal Rekayasa*, 10(02), 142–152.
- Herlambang, W., & Saraswati, A. (2017). Bio Concrete : Self-Healing Concrete, Aplikasi Mikroorganisme Sebagai Solusi Pemeliharaan Infrastruktur Rendah Biaya. 520–542.
- Jonkers, H. M., Thijssen, A., Muyzer, G., Copuroglu, O., & Schlangen, E. (2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36(2), 230–235.
- Junaidi, I., Jaya Ekaputri, J., Purnomo, S., Harry Sumartono, I., Agustin, W., & Astuti, W. (2022). Aplikasi Mikroba Dalam Agregat Buatan Untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton Mengandung Fly Ash. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 289–301.
- Linda, T. M., Dwi, M., Ningsih, S., Fibriarti, B. L., Andini, S., & Futra, D. (2022). Aktivitas Urease dan Pembentukan Kalsium Karbonat oleh Bakteri Ureolitik Urease Activity and Calcium Carbonate Formation by Ureolytic Bacteria. 11(1), 139–143.
- Mahmood, F., Kashif Ur Rehman, S., Jameel, M., Riaz, N., Javed, M. F., Salmi, A., & Awad, Y. A. (2022). Self-Healing Bio-Concrete Using *Bacillus subtilis* Encapsulated in Iron Oxide Nanoparticles. *Materials*, 15(21), 7731.

- Rizal, F., Aiyub, Hanif, & Anwar, C. (2021). Pengaruh Penggunaan Bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap Kinerja Mortar yang Terpapar Sulfat. *Proceeding Seminar Nasional*, 5, 113–121. <https://e->
- Setiawan, E., Sri Wahyuni, Y., & Nia Kartika, dan. (2023). Analisis Efektifitas Kemampuan Pulih Mandiri Micro Crack Pada Self-Healing Concrete. *Rekayasa Sipil*, 17(2), 169–178.
- Syarif, F., Mahadika Davino, G., & Ferry Ardianto, M. (2020). Penerapan Teknik Biocementation Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik. *Saintis*, 20, 47–52.
- Tyagi, N., & Yadav, A. K. (2019). Self Healing Concrete-The Need. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 1–14.