

KEMAMPUAN KUAT TEKAN, KUAT TARIK DAN KUAT LENTUR TERHADAP KINERJA MORTAR DENGAN PENAMBAHAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Yuwan Abdiel Zaim Labib¹, Ester Priskasari², dan Siswi Astuti³

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: 2021123@scholar.itn.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: esterpriskasari@gmail.com

³Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: siswiastuti@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

Mortar Mortar is one of the building materials used in construction. Mortar can be used for structural components and non-structural components of buildings. Mortar has mechanical properties, namely compressive strength, tensile strength and flexural strength. The tensile and flexural strength of mortar is lower than its compressive strength. The pore number in mortar is also very large, making it prone to cracking. The 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 bacterial mixture of 0%, 20%, 40% and 60% of the water requirement. The curing method used in this research was left at room temperature and testing was carried out after 28 days. The process of removing the mortar in the mold was carried out 2 days after molding. The results of testing compressive strength, tensile strength and flexural strength have decreased mechanical properties. The results of the most compressive strength test were at 0% sample variation averaging 3.73 MPa, the most tensile strength test was at 0% sample variation averaging 0.51 MPa and the most flexural strength test was at 0% sample variation averaging 1.08 MPa. As for testing the smallest mortar porosity in the 40% percentage variation of 7.18%. From the results of the hypothesis, it shows that the mechanical properties of mortar are influenced by the addition of a mixture of *bacillus subtilis* bacteria into the mortar mixture. The optimum percentage of mortar added with a mixture of *Bacillus subtilis* bacteria was not reached.

Keywords: pore number, *bacillus subtilis*, mortar, mechanical properties of mortar

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, kuat tarik dan kuat lentur. Kekuatan tarik dan lentur dari mortar lebih rendah daripada kekuatannya. 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%, 20%, 40% dan 60% dari kebutuhan air. Metode curing yang digunakan pada penelitian ini yakni dibiarkan pada suhu ruang dan pengujian dilakukan setelah 28 hari. Proses pelepasan mortar pada cetakan dilakukan 2 hari setelah pencetakan. Hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur mengalami penurunan sifat mekanis. Hasil pengujian kuat tekan paling besar berada pada variasi sampel 0% rata-rata sebesar 3,73 MPa, pengujian kuat tarik paling besar berada pada variasi sampel 0% rata-rata sebesar 0,51 MPa dan pengujian kuat lentur paling besar berada pada variasi sampel 0% sebesar rata-rata 1,08 MPa. Sedangkan untuk pengujian porositas mortar paling kecil pada variasi persentas 40% sebesar 7,18%. Dari hasil hipotesis menunjukkan bahwa sifat mekanis mortar dipengaruhi oleh penambahan campuran bakteri *bacillus subtilis* ke dalam campuran mortar. Persentase optimum pada mortar yang ditambah dengan campuran bakteri *bacillus subtilis* tidak tercapai.

Kata kunci: angka pori, *bacillus subtilis*, mortar, sifat mekanis mortar

1. PENDAHULUAN

Mortar merupakan salah satu komponen bangunan yang digunakan dalam dunia konstruksi. Salah satu penggunaan mortar dalam dunia konstruksi yakni sebagai perekat pemasangan pondasi batu kali dan perekat dari pasangan bata dinding. Mortar memiliki sifat mekanis, diantaranya kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur.

Kekuatan tekan pada mortar sangatlah besar dibandingkan dengan kuat Tarik dan kuat lentur (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 et al., 2021). Untuk memperkecil keretakan yang terjadi pada mortar, muncul inovasi yang digunakan dalam pembuatan mortar, sehingga kinerja mortar dapat bekerja secara optimum yakni dengan penambahan bakteri bacillus subtilis.

Bakteri bacillus subtilis merupakan bakteri gram-positif yang berbentuk atang, rantai maupun tunggal dan bersumber dari tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi dengan kadar pH optimum pertumbuhan 7-8 atau pH normal (Rizal et al., 2021).

Bakteri bacillus subtilis digunakan karena memiliki kemampuan untuk memproduksi zat kapur yang akan mengisi pori-pori dari mortar. Bacillus subtilis dapat hidup pada kondisi ekstrim, sehingga memungkinkan untuk diterapkan sebagai campuran mortar. Di dalam bakteri tersebut terkandung senyawa kimia yang dapat menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3). Untuk menghasilkan kalsium karbonat dibutuhkan bahan tambahan lain yang digunakan dalam pencampuran mortar, yakni urea, CaCl_2 dan nutrisi bakteri. Senyawa yang dihasilkan tersebut digunakan mortar untuk menutup pori-pori dan memperkecil adanya retakan pada mortar (Setiawan et al., 2023).

2. METODOLOGI

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja mortar yang ditambahkan dengan bakteri bacillus subtilis.

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang

B. Komposisi Campuran Mortar

1. Semen

Semen merupakan salah satu komponen perekat pada mortar. Mortar yang digunakan adalah Tipe 1 produk dari Semen Gresik.

Semen tipe ini tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.

2. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir merupakan salah satu material yang digunakan dalam campuran mortar. Agregat halus yang digunakan berukuran 4,75 mm atau saringan No. 4 (Anonim, 2008). Dalam penelitian ini pasir yang digunakan oleh peneliti adalah jenis pasir lumajang.

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). Air aquadest merupakan air yang dihasilkan dari penyulingan atau destilasi yang memiliki pH 7 atau pH netral.

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. Bakteri ini akan aktif ketika dirangsang oleh O_2 dan H_2O .

5. Komponen Pendukung

Komponen pendukung yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan bakteri bacillus subtilis adalah air kelapa, CaCl_2 dan urea (Syarif et al., 2020).

C. Pengujian Bahan

1. Pengujian gradasi pasir (SNI ASTM C136-2012)
2. Pemeriksaan kadar air (SNI 971-2011)
3. Pemeriksaan kadar organik (SNI 2816-2014)
4. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus SNI 03-4428-1997)
5. Pemeriksaan berat jenis pasir dan semen (SNI 1970-2008)
6. Pemeriksaan berat isi pasir dan semen (SNI 03-4804-1998)
7. Uji konsistensi dan waktu ikat semen

D. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat untuk penelitian ini adalah berbentuk kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, balok ukuran 4 cm x 16 cm x 4 cm dan briquette. Dengan perbandingan komposisi 1 semen : 5 pasir.

Tabel 1. Komposisi Mortar Kubus

Persentase	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Campuran Bakteri (gr)
0%	1536,5	203,7	142,59	0
20%	1536,5	203,7	114,07	28,52
40%	1536,5	203,7	68,44	57,04
60%	1536,5	203,7	27,38	85,55

Tabel 2. Komposisi Mortar Balok

Persentase	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Campuran Bakteri (gr)
0%	1573,38	208,59	146,01	0
20%	1573,38	208,59	116,81	29,20
40%	1573,38	208,59	87,61	58,40
60%	1573,38	208,59	58,40	87,61

Tabel 3. Komposisi Mortar Briquette

Persentase	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Campuran Bakteri (gr)
0%	472,01	62,58	43,80	
20%	472,01	62,58	35,04	8,76
40%	472,01	62,58	26,28	17,52
60%	472,01	62,58	17,52	26,28

Tabel 4. Jumlah Mortar

Persentase	Kubus	Balok	Briquette	Total
0%	6	3	3	12
20%	6	3	3	12
40%	6	3	3	12
60%	6	3	3	12

Setelah dilakukan pembuatan benda uji, mortar dicetak pada masing-masing cetakan. Lalu mortar dibiarkan pada suhu ruang selama 2 x 24 jam, kemudian lepas mortar dari cetakan.

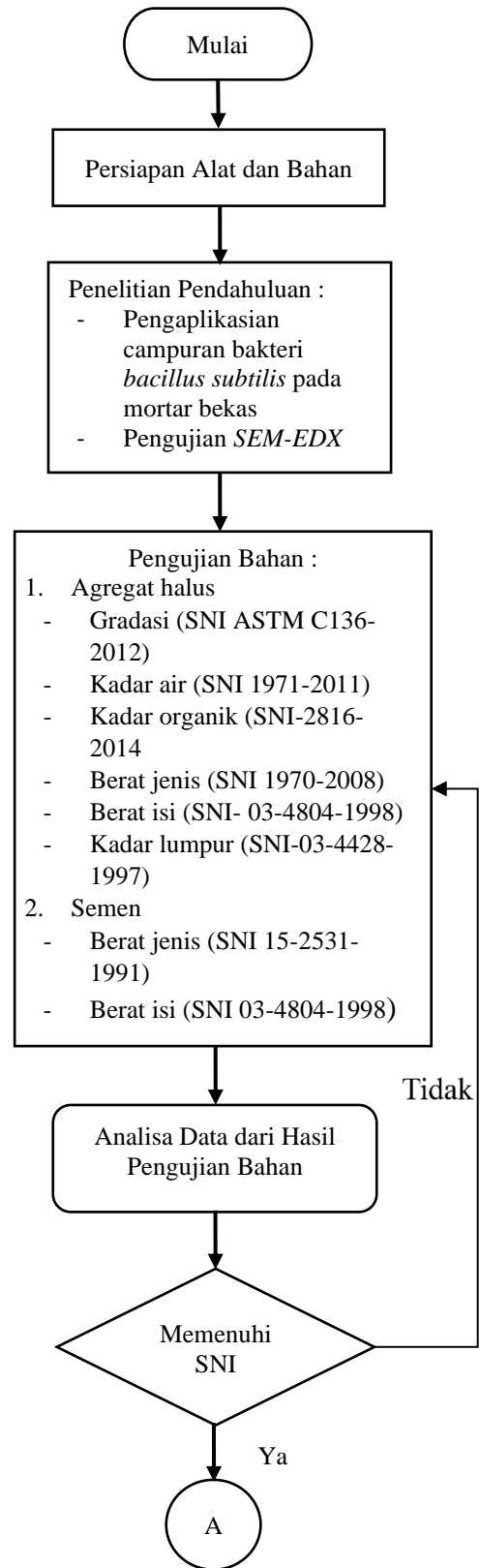
E. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dalam penelitian ini yakni dibiarkan pada suhu ruang. Perawatan benda uji dilakukan selama 28 hari.

F. Pengujian Mortar

Setelah dilakukan perawatan selama 28 hari, benda uji diangkat dan diuji menggunakan mesin uji tekan (compression test machine) dan mesin uji kuat lentur dan kuat tarik (flexure & tensile machine).

G. Diagram Alir

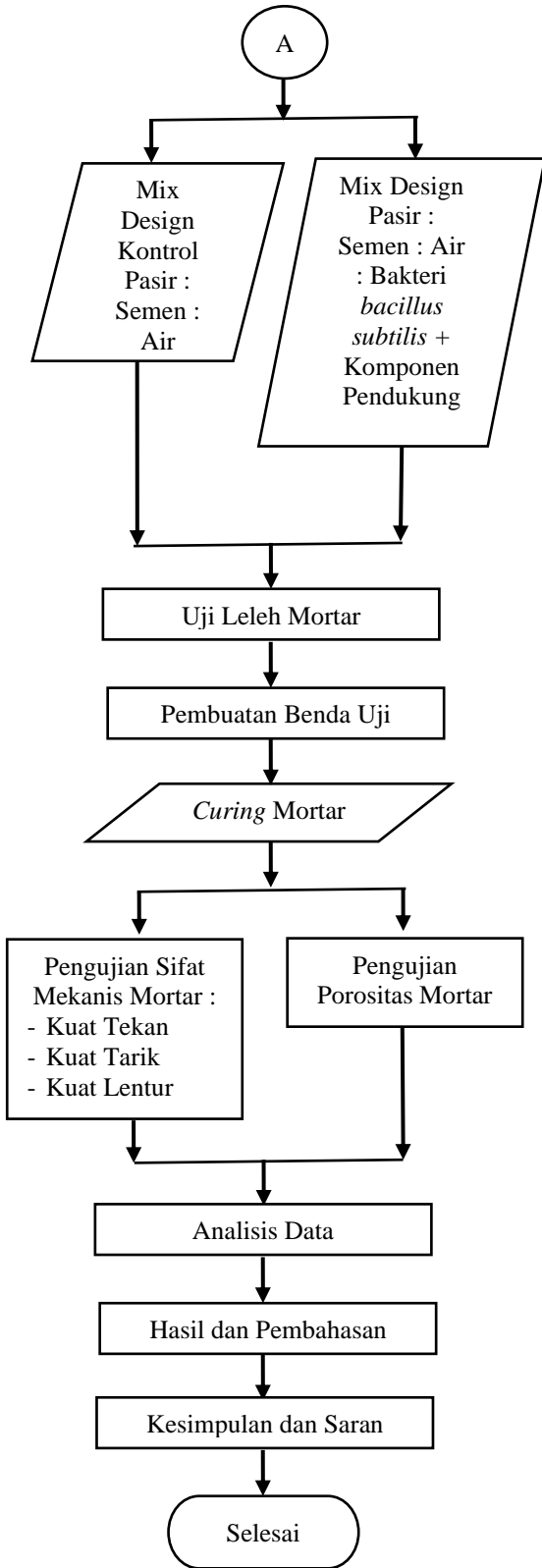


3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pengujian dari penelitian yang telah dilakukan :

A. Pengujian Sifat Mekanis :

1. Kuat Tekan



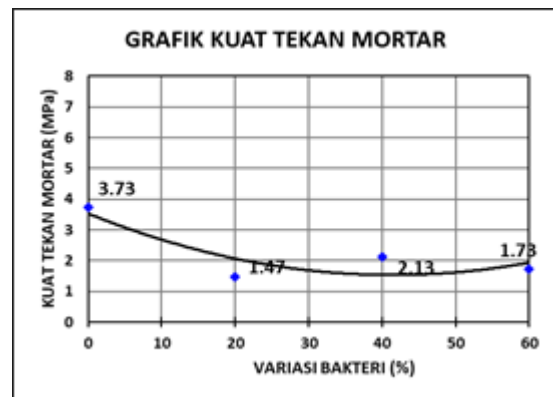
Gambar 1. Diagram Alir



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan

Variasi	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata (MPa)
		1	2	3	
0%	28	4,00	3,60	3,60	3,73
20%	28	1,20	1,60	1,60	1,47
40%	28	2,40	2,00	2,00	2,13
60%	28	1,60	1,60	2,00	1,73



Grafik 1. Kuat Tekan

Dari grafik di atas kuat tekan mortar mengalami kenaikan dan penurunan. Kuat tekan mortar paling optimum berada pada variasi 0% sebesar 3,73 MPa.

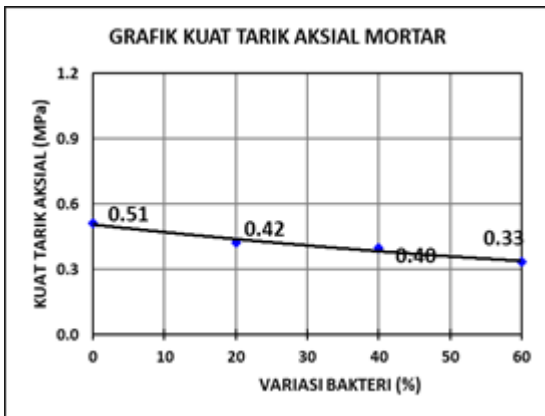
2. Kuat Tarik



Gambar 3. Pengujian Kuat Tarik

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tarik

Variasi	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata (MPa)
		1	2	3	
0%	28	0,53	0,46	0,53	0,51
20%	28	0,46	0,40	0,40	0,42
40%	28	0,40	0,46	0,33	0,40
60%	28	0,26	0,40	0,33	0,33



Grafik 2. Kuat Tarik Mortar

Dari grafik di atas menunjukkan kuat tarik mortar mengalami penurunan secara signifikan. Kuat tarik mortar paling optimum berada pada variasi persentase 0% sebesar 0,51 MPa.

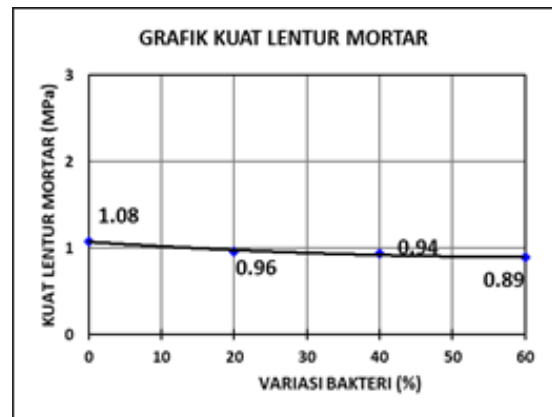
3. Kuat Lentur



Gambar 4. Pengujian Kuat Lentur

Tabel 7. Hasil Uji Kuat Lentur

Variasi	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)			Rata-Rata (MPa)
		1	2	3	
0%	28	0,53	0,46	0,53	0,51
20%	28	0,46	0,40	0,40	0,42
40%	28	0,40	0,46	0,33	0,40
60%	28	0,26	0,40	0,33	0,33



Grafik 3. Kuat Lentur Mortar

Dari grafik di atas menunjukkan kuat lentur mortar mengalami penurunan. Kuat lentur mortar paling optimum berada pada variasi persentase 0% sebesar 1,08 MPa

4. Porositas

Tabel 8. Hasil Uji Porositas

Variasi (%)	Porositas (%)			Rata-Rata (%)
	1	2	3	
0%	8,44	6,87	8,53	7,95
20%	10,97	11,61	11,01	11,20
40%	6,95	5,95	8,65	7,18
60%	9,69	9,55	9,44	9,56

Dari tabel di atas, didapatkan data porositas dari setiap persentase mortar. Nilai porositas paling rendah yang didapatkan berada pada variasi persentase 40% sebesar 7,18%.

5. Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan pada penelitian ini menggunakan 95%. Berikut adalah contoh perhitungan interval kepercayaan :

$$\begin{aligned} \bar{x} &= 3,73 \text{ MPa (Kuat Tekan)} \\ S &= \frac{\sqrt{((4,00-3,73)^2+(3,60-3,73)^2+(3,60-3,73)^2)}}{3-1} \\ &= 0,231 \\ P &= \frac{1}{2} (1+0,95) \\ dk &= n \\ &= 3 \\ t_{0,975} &= 3,182 \\ \text{Dimana :} \\ \bar{x} &= \text{Rata-rata} \\ S &= \text{Standar deviasi} \\ P &= \text{persentil} \\ t_{0,975} &= \text{nilai t pada persentil 0,975} \end{aligned}$$

Maka interval kepercayaan yang didapat adalah :

$$\begin{aligned} &= \bar{x} - (t_{0,975} \times \frac{S}{\sqrt{n}}) < \mu < \bar{x} + (t_{0,975} \times \frac{S}{\sqrt{n}}) \\ &= 3,73 - (3,182 \times \frac{0,231}{3}) < \mu < 3,73 + (3,182 \times \frac{0,231}{3}) \\ &= 3,73 - 0,37 < \mu < 3,73 + 0,37 \\ &= 3,37 < \mu < 4,10 \end{aligned}$$

Tabel 9. Interval Kepercayaan Kuat Tekan Mortar

Variasi	\bar{x}	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan
0%	5,47	0,231	0,975	3	3,182	3,37 < μ < 4,10
20%	1,47	0,231	0,975	3	3,182	1,10 < μ < 1,83
40%	2,13	0,231	0,975	3	3,182	1,77 < μ < 2,50
60%	1,73	0,231	0,975	3	3,182	1,37 < μ < 2,10

Tabel 10. Interval Kepercayaan Kuat Tekan Mortar

No.	Variasi Bakteri (%)	Kode	Kuat Tekan (MPa)	Interval Kepercayaan			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1	0	0% 1	4,00	3,37	< μ <	4,10	Memenuhi
2		0% 2	3,60				Memenuhi
3		0% 3	3,60				Memenuhi
1	20	20% 1	1,20	1,10	< μ <	1,83	Memenuhi
2		20% 2	1,60				Memenuhi
3		20% 3	1,60				Memenuhi
1	40	40% 1	2,40	1,77	< μ <	2,50	Memenuhi
2		40% 2	2,00				Memenuhi
3		40% 3	2,00				Memenuhi
1	60	60% 1	1,60	1,37	< μ <	2,10	Memenuhi
2		60% 2	1,60				Memenuhi
3		60% 3	2,00				Memenuhi

Hasil perhitungan interval kepercayaan pada pengujian kuat tekan mortar memenuhi persyaratan.

Tabel 11. Interval Kepercayaan Kuat Tarik Mortar

Variasi	\bar{x}	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan
0%	0,51	0,04	0,975	3	3,182	0,45 < μ < 0,57
20%	0,42	0,04	0,975	3	3,182	0,36 < μ < 0,48
40%	0,40	0,07	0,975	3	3,182	0,29 < μ < 0,51
60%	0,33	0,07	0,975	3	3,182	0,18 < μ < 0,48

Tabel 12. Interval Kepercayaan Kuat Tarik Mortar

No.	Variasi Bakteri (%)	Kode	Kuat Tarik (MPa)	Interval Kepercayaan			Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)
1	0	0% 1	0,53	0,45	< μ <	0,57	Memenuhi
2		0% 2	0,47				Memenuhi
3		0% 3	0,53				Memenuhi
1	20	20% 1	0,47	0,36	< μ <	0,48	Memenuhi
2		20% 2	0,40				Memenuhi
3		20% 3	0,40				Memenuhi
1	40	40% 1	0,40	0,29	< μ <	0,51	Memenuhi
2		40% 2	0,47				Memenuhi
3		40% 3	0,33				Memenuhi
1	60	60% 1	0,27	0,18	< μ <	0,48	Memenuhi
2		60% 2	0,40				Memenuhi
3		60% 3	0,33				Memenuhi

Hasil perhitungan interval kepercayaan pada pengujian kuat tarik mortar memenuhi persyaratan.

Tabel 13. Interval Kepercayaan Kuat Lentur Mortar

Variasi	\bar{x}	S	P	dk	$t_{0,975}$	Interval Kepercayaan
0%	1,08	0,08	0,975	3	3,182	0,95 < μ < 1,21
20%	0,96	0,14	0,975	3	3,182	0,74 < μ < 1,18
40%	0,94	0,21	0,975	3	3,182	0,60 < μ < 1,28
60%	0,89	0,16	0,975	3	3,182	0,53 < μ < 1,26

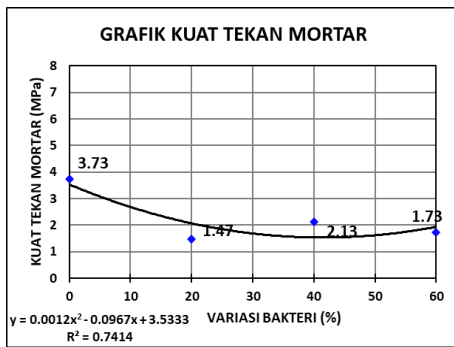
Tabel 14. Interval Kepercayaan Kuat Lentur Mortar

No.	Variasi Bakteri (%)	Kode	Kuat Lentur (MPa)	Interval Kepercayaan			Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
1	0	0% 1	1,13	0,95	< μ <	1,21	Memenuhi
2		0% 2	1,13				Memenuhi
3		0% 3	0,98				Memenuhi
1	20	20% 1	1,15	0,74	< μ <	1,18	Memenuhi
2		20% 2	0,72				Memenuhi
3		20% 3	0,87				Memenuhi
1	40	40% 1	1,20	0,60	< μ <	1,28	Memenuhi
2		40% 2	1,07				Memenuhi
3		40% 3	1,20				Memenuhi
1	60	60% 1	0,98	0,53	< μ <	1,26	Memenuhi
2		60% 2	0,70				Memenuhi
3		60% 3	0,98				Memenuhi

Hasil perhitungan interval kepercayaan pada pengujian kuat lentur mortar memenuhi persyaratan.

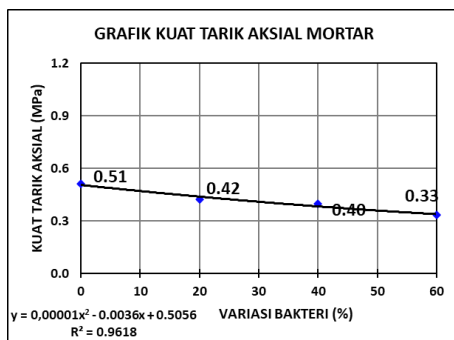
6. Analisa Regresi

Analisa regresi diperlukan untuk mengetahui hubungan antara parameter dan penambahan campuran bakteri terhadap campuran mortar.



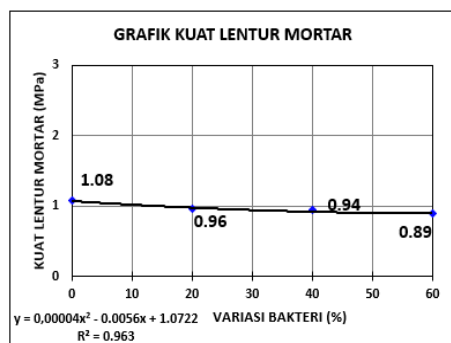
Grafik 4. Analisa Regresi Kuat Tekan Mortar

Dari grafik di atas diperoleh persamaan $y = 0,0012x^2 - 0,0967x + 3,513$, koefisien determinasi $r^2 = 0,7414$ dan koefisien korelasi sebesar 0,861.



Grafik 5. Analisa Regresi Kuat Tarik Mortar

Dari grafik di atas diperoleh persamaan $y = 0,00001x^2 - 0,00361x + 0,506$, koefisien determinasi $r^2 = 0,962$ dan koefisien korelasi sebesar 0,981



Grafik 6. Analisa Regresi Kuat Lentur Mortar

Dari grafik di atas diperoleh persamaan $y = 0,00004x^2 - 0,0056x + 1,072$, koefisien determinasi $r^2 = 0,963$ dan koefisien korelasi sebesar 0,981

7. Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan campuran bakteri bacillus subtilis terhadap komposisi campuran mortar dengan analisis statistik.

a. Kuat Tekan

$$t_{hitung} = \frac{R \sqrt{n}}{\sqrt{1-R^2}}$$

$$= \frac{0,861 \sqrt{3}}{\sqrt{1-0,861^2}}$$

$$= 2,942$$

$$t_{tabel} = 3,182$$

Karena $t_{hitung} < t_{tabel} = 2,942 < 3,182$ maka, hipotesis nol (H_0) diterima.

b. Kuat Tarik

$$t_{hitung} = \frac{R \sqrt{n}}{\sqrt{1-R^2}}$$

$$= \frac{0,981 \sqrt{3}}{\sqrt{1-0,981^2}}$$

$$= 8,758$$

$$t_{tabel} = 3,182$$

Karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 8,758 > 3,182$ maka, hipotesis nol (H_0) ditolak.

c. Kuat Lentur

$$t_{hitung} = \frac{R \sqrt{n}}{\sqrt{1-R^2}}$$

$$= \frac{0,9813 \sqrt{3}}{\sqrt{1-0,9831^2}}$$

$$= 8,830$$

$$t_{tabel} = 3,182$$

Karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 8,830 > 3,182$ maka, hipotesis nol (H_0) ditolak.

8. Pembahasan

Pada penelitian ini benda uji mortar yang digunakan adalah mortar tipe O dengan kuat tekan minimum umur 28 hari sebesar 2,4 MPa. Mortar ini dibuat dengan perbandingan 1 semen : 5 pasir. Waktu yang dibutuhkan untuk pelepasan mortar yang ditambah dengan campuran bakteri bacillus subtilis yakni 2 x 24 jam setelah pencetakan mortar. Sedangkan mortar normal dilakukan pelepasan 1 x 24 jam setelah pencetakan. Setelah dilakukan pengujian sifat mekanis mortar, nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur pada mortar yang ditambahkan campuran bakteri bacillus subtilis mengalami penurunan dibandingkan dengan mortar yang tidak ditambahkan campuran bakteri. Hal ini terjadi karena mortar yang ditambahkan campuran bakteri tidak optimum untuk memproduksi kalsium karbonat ($CaCO_3$). Pada dasarnya untuk merangsang bacillus subtilis agar memproduksi kalsium karbonat dibutuhkan air dan udara (Rizal dkk., 2021). Tetapi pada saat penelitian ini dilakukan, benda uji yang ditambah dengan campuran bakteri bacillus subtilis tidak terangsang oleh air, karena pada saat proses curing dibiarkan pada suhu ruang.

4. KESIMPULAN

Pada penggunaan mortar dengan perbandingan 1 semen : 5 pasir menghasilkan sifat mekanis yang berbeda-beda pada setiap variasi persentase. Berikut adalah kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1. Pada variasi persentase 0%, kuat tekan mortar yang dihasilkan rata-rata sebesar 3,73 MPa. Sedangkan pengujian kuat tarik mendapatkan 0,51 MPa dan kuat lentur mendapat 0,89 MPa. Pengujian kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur variasi persentase 20% mendapatkan nilai masing-masing sebesar 1,47 MPa, 0,42 MPa dan 0,96 MPa. Pada variasi persentase 40% pengujian kuat tekan mendapat nilai sebesar 2,13 MPa, kuat tarik sebesar 0,42 MPa dan kuat lentur sebesar 0,94 MPa. Kemudian untuk variasi persentase 60% pengujian kuat tekan mendapat nilai sebesar 1,73 MPa, kuat tarik mendapat nilai 0,33 MPa dan kuat lentur sebesar 0,89 MPa. Pada pengujian porositas, dihasilkan bahwa porositas mengalami kenaikan dengan kenaikan terbesar pada variasi persentase 20% sebesar 11,20%.
2. Persentase pengujian sifat mekanis tidak mencapai optimum, karena pada pengujiannya mengalami penurunan kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur.

5. SARAN

1. Perlu dilakukan perlakuan mortar yang berbeda dengan penelitian ini agar mortar dengan campuran bakteri *bacillus subtilis* dapat memproduksi kalsium karbonat (CaCO₃) yang maksimal.
2. Perlu dilakukan pengembangan variasi komposisi agar mendapatkan hasil mutu yang maksimal.
3. Perlu dilakukan pengamatan yang lebih lama terhadap perkembangan bakteri *bacillus subtilis* pada mortar.
4. Perlu dilakukan pengamatan suhu lingkungan bakteri, karena bakteri *bacillus subtilis* memiliki kondisi optimum dalam perkembangannya.
5. Perlu dilakukan pengamatan terhadap pengaruh pada pekerjaan lain seperti pengecatan dan kusen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1991). SNI 15-2531:1991 Metode Pengujian Berat Jenis Semen. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (1997). SNI 03-4428:1997 Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Anonim. (1998). SNI 03-4804:1998 Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2002a). SNI 03-2847:2002 Metode Pengujian Mutu Air untuk Digunakan Dalam Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2002b). SNI 03-6825:2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2004). SNI 15-2049:2004 Semen Portland. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2008). SNI 1970:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2011a). SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2011b). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2011c). SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2012). SNI ASTM C136:2012 Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim. (2014). SNI 2816:2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- 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. <https://jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id/index.php/JRFTSP/article/view/71>
- 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-jurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/2711>
- Setiawan, E., Sri Wahyuni, Y., & Nia Kartika, dan. (2023). Analisis Efektifitas Kemampuan Pulih Mandiri Micro Crack Pada Self-Healing Concrete. <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/1008>
- 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. [https://doi.org/10.25299/saintis2020.vol20\(01\).4809](https://doi.org/10.25299/saintis2020.vol20(01).4809)