

PENGARUH BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP KEKUATAN BATU BATA MENGGUNAKAN LUMPUR LIMBAH IPA

Amanda Syasya Billah^{1*}, Andi Marini Indriani², Gunaedy Utomo³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Balikpapan, Indonesia
e-mail: *197011483@uniba-bpn.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Lumpur Limbah IPA mengandung bahan kimia yang dapat menimbulkan pencemaran pada sungai. Untuk mengurangi pencemaran, lumpur limbah IPA dapat dimanfaatkan menjadi bahan pembuatan batu bata. Selain itu pada penelitian ini dalam pembuatan batu bata tidak dibakar agar tidak menimbulkan polusi udara. Batu bata yang dibuat tanpa dibakar umumnya menggunakan semen dalam campuran tanah liat. Semen sendiri dalam proses pembuatannya dapat menimbulkan limbah. Salah satu upaya untuk menghindari pencemaran adalah menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* yang ramah lingkungan untuk meningkatkan kekuatan dari batu bata tanpa bakar. Tujuan dari penelitian ini untuk menguji pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* terhadap kekuatan batu bata. Pada penelitian ini menggunakan tanah liat dan campuran lumpur limbah IPA sebesar 15% dari berat tanah liat. Untuk perkuatannya ditambahkan larutan bakteri sebesar 2%, 4%, dan 6% dari berat batu bata dengan umur kultur bakteri 4 hari. Kemudian dari hasil pengujian terhadap batu bata yang telah diperam selama 28 hari, kuat tekan batu bata dengan larutan bakteri 6% meningkat 59% menjadi 32,04 Kg/Cm² dibandingkan dengan batu bata tanpa perkuatan bakteri sebesar 20,11 Kg/Cm². Penelitian ini membuktikan potensi penggunaan bakteri *Bacillus subtilis* dalam meningkatkan kekuatan batu bata.

Kata kunci— Lumpur Limbah IPA, Batu Bata, Bakteri *Bacillus Subtilis*, Kuat Tekan

Abstract

Wastewater sludge IPA contains chemicals that can cause pollution in rivers. To reduce pollution, wastewater sludge can be utilized in making bricks. Additionally, in this research, bricks are not fired to prevent air pollution. Bricks that are made without firing typically use cement in the clay mixture. Cement itself, in its production process, can generate waste. One of the efforts to avoid pollution is to use environmentally friendly *Bacillus subtilis* bacteria to enhance the strength of unfired bricks. The objective of this research is to examine the effect of *Bacillus subtilis* bacteria on the strength of bricks. In this study, clay and wastewater sludge from Balikpapan City IPA were used. For reinforcement, bacterial solutions of 2%, 4%, and 6% of the weight of the bricks were added, with a bacterial culture age of 4 days. From the results of testing bricks that have been cured for 28 days, the compressive strength of bricks treated with a 6% bacterial solution increased by 59% to reach 32,04 Kg/Cm² compared to bricks without bacterial reinforcement, which had a strength of 20,11 Kg/Cm². This research demonstrates the potential use of *Bacillus subtilis* bacteria in enhancing the strength of bricks.

Keywords— IPA Waste Sludge, Bricks, *Bacillus Subtilis* Bacteria, Compressive Strength

I. PENDAHULUAN

Batu bata merupakan bahan konstruksi yang sangat umum dipakai sebagai elemen penyusun dinding pada bangunan. Batu bata dibuat dari tanah liat, bisa dengan atau tanpa campuran bahan lainnya. Secara umum, bahan baku yang digunakan untuk membuat batu bata adalah tanah liat, namun tanah liat adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga bahan baku ini akan habis jika melakukan penggalian tanah liat yang berlebihan (Amir & Basry, 2019). Dengan perkembangan ilmu pengetahuan yang pesat menimbulkan inovasi dengan penemuan baru. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan cara pembuatan batu bata dengan menggunakan berbagai jenis limbah, termasuk limbah dari Instalasi Pengolahan Air (IPA).

Lumpur limbah IPA mengandung bahan kimia apabila dibiarkan dapat menimbulkan pencemaran sekaligus sedimentasi pada sungai. Lumpur limbah IPA dapat dimanfaatkan salah satunya menjadi bahan pembuatan batu bata yang dapat mengurangi masalah pencemaran air. Lumpur limbah IPA dapat dimanfaatkan karena mengandung komposisi mineralogi yang sangat mirip dengan lempung (Apriani et al., 2023). Umumnya dalam pembuatan batu bata proses pembakaran digunakan untuk mempercepat proses pengeringan. Namun, penggunaan metode ini seringkali berdampak pada pencemaran udara. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif lain seperti menciptakan batu bata tanpa melalui tahap pembakaran.

Proses pembuatan batu bata tanpa pembakaran merupakan solusi yang ramah lingkungan. Batu bata yang dibuat tanpa dibakar umumnya menggunakan semen dalam campuran tanah liat. Namun, perlu diingat bahwa pembuatan semen sendiri dapat menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan (Harlan & Lukman, 2020). Salah satu upaya untuk menghindari pencemaran adalah menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* yang ramah lingkungan (Marini et al., 2019).

Bacillus subtilis adalah kelompok bakteri mesofil yang mampu hidup pada kisaran suhu 10°C - 47°C. Bakteri ini dapat hidup pada lingkungan yang ekstrim karena dapat membentuk endospora protektif. Endospora inilah yang membuat *Bacillus subtilis* memiliki ketahanan terhadap panas, asam, dan garam di lingkungan dalam jangka waktu lama (Elisa et al., 2018). Bakteri *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan untuk mengendapkan *calcite* dimana *calcite* memiliki sifat mampu mengikat butiran tanah sehingga tanah seperti

tersementasi (Indriani dkk., 2021). Spesies bakteri *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan memperbaiki kerusakan secara mandiri dengan persentase cairan bakteri berbeda-beda (Rizal et al., 2021). Pada penelitian ini menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* pada pembuatan batu bata yang dibuat dengan metode tanpa dibakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengujian terhadap pengaruh bakteri *Bacillus subtilis* pada kekuatan batu bata dengan menggunakan Lumpur Limbah IPA Kota Balikpapan.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode eksperimental digunakan yang melibatkan pelaksanaan penelitian secara langsung di dalam laboratorium Universitas Balikpapan untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada batu bata setelah diberikan larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Semua penelitian dilakukan di laboratorium Universitas Balikpapan. Waktu penelitian dilakukan dari mulai bulan Februari 2023 sampai dengan Agustus 2023.

Untuk pengujian kuat tekan, sampel batu bata diberi larutan bakteri sebesar 2%, 4%, 6% dari berat batu bata dengan umur kultur empat hari. Pada penelitian ini menggunakan lumpur limbah IPA sebesar 15% dari berat tanah liat. Setiap variasinya terdiri dari 4 masa peram yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Setiap masa peram terdiri dari 3 sampel. Sebagai pembandingan dibuat juga batu bata tanpa diberi perkuatan bakteri dengan masa peram yang sama. Sehingga secara total, terdapat 48 batu bata yang diuji. Batu bata dicetak sesuai SNI 15-2094-2000 dengan ukuran 190 mm x 90 mm x 65 mm.

A. Pengujian Laboratorium

Pengujian Laboratorium dilakukan dengan mengambil sampel tanah dan Lumpur limbah IPA kemudian di uji untuk mengetahui karakteristik masing-masing sampel tanah. Pemeriksaan karakteristik sampel bertujuan untuk mengidentifikasi keadaan sampel sebenarnya. Saat pengujian laboratorium sesuai dengan standar pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Standar Pengujian

No.	Jenis Pengujian	Jenis Standar
1	Kadar air	ASTM D-2216-98
2	Berat jenis	SNI 03-1964-1990
3	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990

No.	Jenis Pengujian	Jenis Standar
4	Hidrometer	ASTM D 422 – 63
5	Batas cair	ASTM D 4318
6	Batas plastis	ASTM D 4318
7	Standard proctor	ASTM D 698-00a

Sumber: Data Laboratorium

B. Pembuatan Kultur Bakteri *Bacillus Subtilis*

Kultur bakteri adalah metode untuk mengembangbiakkan bakteri di dalam media kultur secara terkendali di dalam laboratorium (Marini Indriani et al., 2023). Awalnya bakteri *Bacillus subtilis* berbentuk isolat. Kemudian bakteri tersebut dibiakkan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Balikpapan. Dalam proses kultur, bakteri dibiakkan dengan media *nutrient broth* dan diinkubasi pada botol. Proses pembuatan kultur Bakteri *Bacillus subtilis* ditempatkan dalam medium B4 yang mengandung komposisi berikut urea 20g, *nutrient broth* 3g, NaHCO_3 2,12 gr, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4,14gr, NH_4Cl 10gr. Semua bahan ini dicampur dalam gelas beaker dengan air suling hingga mencapai volume 1000 ml. Kemudian bakteri dibudidayakan dengan umur kultur empat hari.

Berdasarkan tahapan pertumbuhan bakteri, periode adaptasi (*Lag phase*) dari larutan bakteri terjadi hingga mencapai hari pertama. Kemudian, fase pertumbuhan bakteri berlangsung selama satu hingga dua hari ini. Tahap berikutnya adalah fase stasioner, yang dimulai dari hari kedua dan berlangsung hingga hari kelima. Tahap terakhir adalah fase kematian, yang terjadi antara hari kelima hingga hari ketujuh (Cheng et al., 2014).



Gambar 1. Isolat Bakteri *Bacillus Subtilis*

C. Pembuatan Larutan Sementasi

Larutan sementasi adalah campuran larutan yang terdiri dari urea dan Kalsium klorida (CaCl_2) yang memiliki manfaat bagi bakteri untuk membentuk kalsit atau kalsium karbonat (Indriani et al., 2022). Larutan sementasi ini membantu dalam proses pengikatan dan pengerasan material yang digunakan dalam campuran tanah (Indriani & Utomo, 2023). Selain itu larutan ini digunakan sebagai media pertumbuhan dan mengandung bahan-bahan yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri (Rajasekar et al., 2021). Pada penelitian ini menggunakan larutan sementasi yang terdiri dari urea 0,25 M dan kalsium klorida 0,25 M.

D. Pengujian Kuat Tekan

Untuk menentukan kekuatan maksimal batu bata dalam menahan tekanan, pengujian kuat tekan sangat penting dilakukan. Menurut SNI 15-2094-2000, kuat tekan batu bata yang dikategorikan ke dalam beberapa kelas yang tercantum pada Tabel 2.

TABEL 2. Klasifikasi Kekuatan Batu Bata

Kelas	Kekuatan Tekan Rata-Rata Batu Bata		Koefisien Variasi Izin
	Kg/cm^2	N/mm^2	
50	50	5	22%
100	100	10	15%
150	150	15	15%

Sumber: SNI 15-2094-2000

Berdasarkan penjelasan diatas besarnya kuat tekan dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Keterangan:

σ = Kuat tekan bata Kg/cm^2

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas Penampang benda uji (cm^2)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Untuk mengidentifikasi kategori jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini, diperlukan analisis karakteristik fisik dan mekanis tanah. Informasi lebih

lanjut mengenai hasil pengujian ini dapat ditemukan di Tabel 3 dan Tabel 4.

TABEL 3. Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar Air Natural	24,74	%
2	Berat Jenis	2,682	gr/cm ³
3	Lolos Saringan 200	73,76	%
4	Analisa Hidrometer		
	a. Lanau (<i>Silt</i>)	18,43	%
	b. Lempung (<i>Clay</i>)	55,33	%
5	Batas Cair	37,42	%
6	Batas Plastis	16,78	%
7	Indeks Plastisitas	20,64	%
8	Klasifikasi USCS	CL	-

Sumber: Data Laboratorium

TABEL 4. Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Proktor Standar		
	a. Kadar Air Optimum	17	%
	b. Kepadatan Kering Maksimum	1,775	gr/cm ³

Sumber: Data Laboratorium

Rata-rata berat jenis tanah yang diuji adalah sekitar 2,682 gr/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa tanah ini dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung non-organik, sesuai dengan definisi (Hardiyatmo, 2002). Nilai plastisitas tanah menunjukkan kadar air sekitar 16,78%, dengan indeks plastisitas sekitar 20,64%. Berdasarkan data ini, tanah ini dapat diidentifikasi sebagai jenis tanah lempung anorganik dengan tingkat plastisitas yang rendah.

B. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Lumpur Limbah

Untuk menentukan klasifikasi jenis tanah yang digunakan dalam penelitian, diperlukan pengujian karakteristik fisis dan mekanis limbah lumpur. Detail hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

TABEL 5. Hasil Pengujian Sifat Fisis Lumpur Limbah

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar Air Natural	480,59	%
2	Berat Jenis	2,481	gr/cm ³
3	Lolos Saringan 200	63,76	%
4	Analisa Hidrometer		
	a. Lanau (<i>Silt</i>)	38,09	%
	b. Lempung (<i>Clay</i>)	25,67	%
5	Batas Cair	46,32	%
6	Batas Plastis	33,13	%
7	Indeks Plastisitas	13,19	%
8	Klasifikasi USCS	ML-OL	-

Sumber: Data Laboratorium

TABEL 6. Hasil Pengujian Sifat Mekanis Lumpur Limbah

No	Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
1	Proktor Standar		
	a. Kadar Air Optimum	38,7	%
	b. Kepadatan Kering Maksimum	1,059	gr/cm ³

Sumber: Data Laboratorium

Berdasarkan hasil pengujian limbah lumpur termasuk klasifikasi tanah ML-OL dimana lumpur dengan hasil mayoritasnya terdiri dari *silt* dan *clay* memiliki sifat konsistensi yang lunak. Secara umum, lumpur IPA biasanya memiliki kadar air yang relatif tinggi. Lumpur ini tercipta melalui pemisahan bahan padat dan cairan dari limbah sisa, yang sering disebut sebagai *sludge* atau lumpur cair. Dalam *sludge* ini, kandungan air lebih dominan sementara komponen padat hanya ada dalam jumlah kecil, hanya beberapa persen berupa zat padat (Muhammad, 2010).



Gambar 2. Lumpur Limbah IPA

C. Hasil pengujian kuat tekan

Untuk menentukan kuat tekan dari batu bata, data yang diperlukan adalah hasil pengukuran luas bidang tekan dan nilai beban tekan yang diukur menggunakan alat uji kuat tekan (*Compression Machine*). Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan.

1) Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Tanpa Bakteri

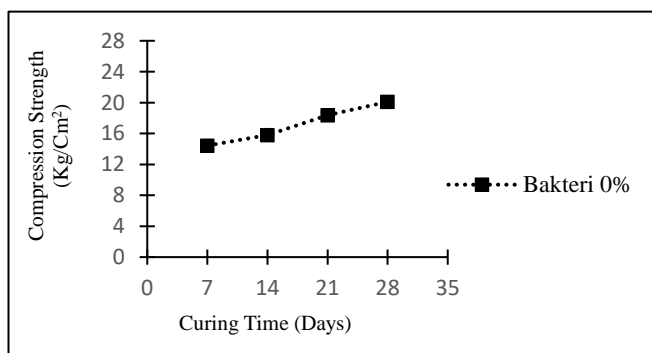
Berikut adalah hasil pengujian rata-rata kuat tekan batu dengan campuran lumpur 15% tanpa campuran bakteri, seperti yang tercantum dalam Tabel 7.

TABEL 7. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Tanpa Bakteri

No	Masa Peram	Baca Alat Uji (kN)	Nilai Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
1	7 Hari	7,9	14,43
2	14 Hari	8,6	15,78
3	21 Hari	10,1	18,38
4	28 Hari	10,9	20,11

Sumber: Hasil Pengujian

Pengujian kuat tekan batu bata normal yang dilakukan pada masa peram 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari menghasilkan nilai rata-rata yang bervariasi. Hasil terendah ditemukan pada masa peram 7 hari dengan nilai 14,43 Kg/Cm² sedangkan hasil tertinggi didapatkan sebesar 20,11 Kg/Cm² dengan masa peram 28 hari. Untuk masa peram 14 hari kuat tekan mencapai 15,78 Kg/Cm² dan masa peram 21 hari kuat tekan mencapai 18,38 Kg/Cm².



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Batu Bata Tanpa Pada Gambar 3, dapat diamati bahwa terjadi peningkatan dalam kuat tekan batu bata. Nilai puncak

dari kuat tekan maksimum tercapai pada masa peram selama 28 hari, dengan peningkatan sebesar 39% yang awal kuat tekan batu batanya sebesar 14,43 Kg/Cm² menjadi 20,11 Kg/Cm². Kuat tekan batu meningkat karena berkurangnya kadar air pada batu bata. Saat air menguap, batu bata mengalami penyusutan dan kompaksi. Partikel-partikel tanah dalam batu bata menjadi lebih padat dan lebih terkompresi satu sama lain. Hal ini dapat meningkatkan kepadatan batu bata dan membuatnya lebih kuat. (Fernandes, 2019).

2) Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Variasi Bakteri 2%

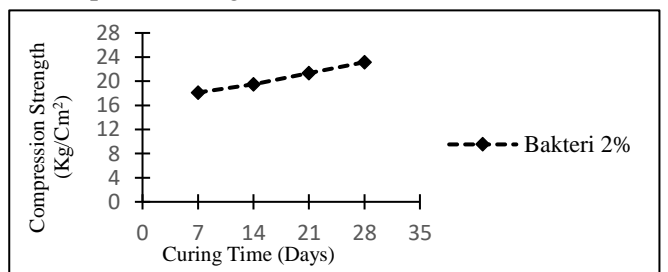
Berikut adalah hasil pengujian rata-rata kuat tekan batu dengan variasi bakteri 2% dengan umur kultur empat hari, seperti yang tercantum dalam Tabel 8 .

TABEL 8. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Bakteri 2%

No	Masa Peram	Baca Alat Uji (kN)	Nilai Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
1	7 Hari	10,0	18,13
2	14 Hari	10,6	19,48
3	21 Hari	11,3	21,35
4	28 Hari	11,8	23,15

Sumber: Hasil Pengujian

Pengujian kuat tekan batu bata variasi bakteri 2% dengan umur kultur empat hari yang dilakukan pada masa peram 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari menghasilkan nilai rata-rata yang bervariasi. Hasil terendah ditemukan pada masa peram 7 hari dengan nilai 18,13 Kg/Cm² sedangkan hasil tertinggi didapatkan sebesar 23,15 Kg/Cm² dengan masa peram 28 hari. Untuk masa peram 14 hari kuat tekan mencapai 19,48 Kg/Cm² dan masa peram 21 hari kuat tekan mencapai 21,35 Kg/Cm² .



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Batu Bata Variasi Bakteri 2%

Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dalam kuat tekan batu bata dengan penambahan bakteri 2% dengan umur kultur empat hari. Pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai kuat tekan hingga 26% dari nilai kuat tekan batu bata yang tidak diberi perkuatan bakteri, dimana yang sebelum di beri bakteri adalah 14,43 Kg/Cm² menjadi 18,13 Kg/Cm². Sedangkan nilai tertinggi dari kuat tekan maksimum tercapai pada masa peram selama 28 hari, dengan peningkatan sebesar 15% menjadi 23,15 Kg/Cm² dari sebelum diberi perkuatan bakteri sebesar 20,11 Kg/Cm².

Dapat dilihat bahwa kuat tekan dengan penambahan larutan bakteri 2% meningkat. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Rajiv dan Nirmaladevi (2021) penambahan larutan bakteri 2% menghasilkan kalsit yang berfungsi sebagai agen pengikat alami yang menyatukan butiran-butiran tanah kecil menjadi suatu matriks yang lebih padat. Ini meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah.

3) Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Variasi Bakteri 4%

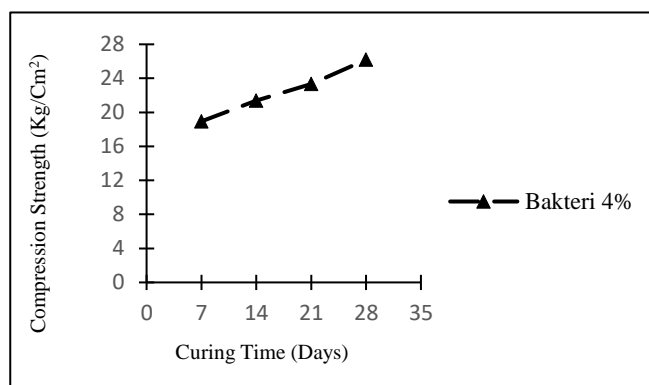
Berikut adalah hasil pengujian rata-rata kuat tekan batu dengan variasi bakteri 4% dengan umur kultur empat hari, seperti yang tercantum dalam Tabel 9.

TABEL 9. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Bakteri 4%

No	Masa Peram	Baca Alat Uji (kN)	Nilai Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
1	7 Hari	10,5	18,94
2	14 Hari	11,5	21,38
3	21 Hari	12,3	23,34
4	28 Hari	13,3	26,19

Sumber: Hasil Pengujian

Pengujian kuat tekan batu bata variasi bakteri 4% dengan umur kultur empat hari yang dilakukan pada masa peram 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari menghasilkan nilai rata-rata yang bervariasi. Hasil terendah ditemukan pada masa peram 7 hari dengan nilai 18,94 Kg/Cm² sedangkan hasil tertinggi didapatkan sebesar 26,19 Kg/Cm² dengan masa peram 28 hari. Untuk masa peram 14 hari kuat tekan mencapai 21,38 Kg/Cm² dan masa peram 21 hari kuat tekan mencapai 23,34 Kg/Cm².



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Batu Bata Variasi Bakteri 4%

peningkatan dalam kuat tekan batu bata dengan penambahan bakteri 4% dengan umur kultur empat hari. Pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai kuat tekan hingga 31% dari nilai kuat tekan batu bata yang tidak diberi perkuatan bakteri, dimana yang sebelum di beri bakteri adalah 14,43 Kg/Cm² menjadi 18,94 Kg/Cm². Sedangkan nilai tertinggi dari kuat tekan maksimum tercapai pada masa peram selama 28 hari, dengan peningkatan sebesar 30% menjadi 26,19 Kg/Cm² dari sebelum diberi perkuatan bakteri sebesar 20,11 Kg/Cm².

Selama masa peram, penambahan larutan bakteri 4% terus meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian Cahaya Putri Torano (2022) bahwa selama fase pemeraman, bakteri terus berupaya menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungannya, menghasilkan berbagai enzim yang merangsang pertumbuhan lebih lanjut. Akibatnya, terjadi sementasi pada campuran tanah dan bakteri serta peningkatan nilai kuat tekan setiap kali bakteri ditambahkan selama proses pemeraman.

4) Hasil Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Variasi Bakteri 6%

Berikut adalah hasil pengujian rata-rata kuat tekan batu dengan variasi bakteri 6 % dengan umur kultur empat hari, seperti yang tercantum dalam Tabel 10.

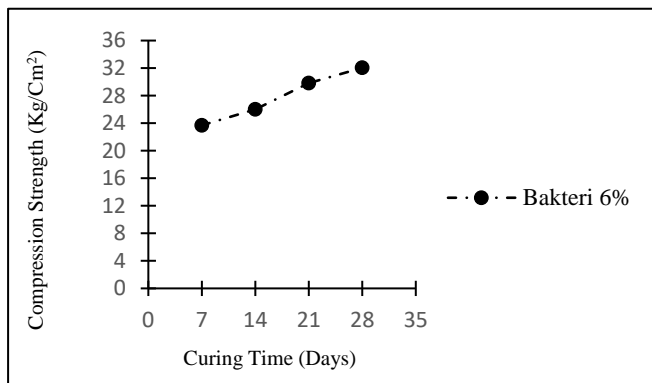
TABEL 10. Hasil Rata-Rata Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Bakteri 6%

No	Masa Peram	Baca Alat Uji (kN)	Nilai Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
1	7 Hari	13,1	23,69
2	14 Hari	14,2	26,02

No	Masa Peram	Baca Alat Uji (kN)	Nilai Kuat Tekan (Kg/Cm ²)
3	21 Hari	15,7	29,81
4	28 Hari	16,4	32,04

Sumber: Hasil Pengujian

Pengujian kuat tekan batu bata variasi bakteri 6% dengan umur kultur empat hari yang dilakukan pada masa peram 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari menghasilkan nilai rata-rata yang bervariasi. Hasil terendah ditemukan pada masa peram 7 hari dengan nilai 23,69 Kg/Cm² sedangkan hasil tertinggi didapatkan sebesar 32,04 Kg/Cm² dengan masa peram 28 hari. Untuk masa peram 14 hari kuat tekan mencapai 26,02 Kg/Cm² dan Untuk masa peram 21 hari kuat tekan mencapai 29,81 Kg/Cm².



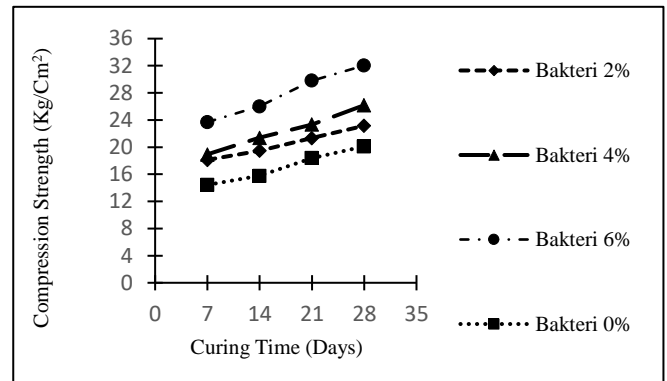
Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Batu Bata Variasi

Dari Gambar 6, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dalam kuat tekan batu bata dengan penambahan bakteri 6% dengan umur kultur empat hari. Pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai kuat tekan hingga 64% dari nilai kuat tekan batu bata yang tidak diberi perkuatan bakteri, dimana yang sebelum di beri bakteri adalah 14,43 Kg/Cm² menjadi 23,69 Kg/Cm². Sedangkan nilai tertinggi dari kuat tekan maksimum tercapai pada masa peram selama 28 hari, nilai kuat tekan batu bata meningkat hingga 59% menjadi 32,04 Kg/Cm² dari sebelum diberi perkuatan bakteri sebesar 20,11 Kg/Cm².

Peningkatan optimal dalam kuat tekan terjadi ketika digunakan larutan bakteri 6%. Seperti pada penelitian Hasriana et al., (2018) bahwa peningkatan ini terjadi karena peningkatan kerapatan partikel yang disebabkan oleh proses presipitasi kalsit yang dipicu oleh bakteri. Hal ini menghasilkan pembentukan kristal kalsit atau

kalsium karbonat (CaCO₃) yang padat dan kuat, yang saling melekat dan mengakibatkan pengerasan tanah.

Berikut ini adalah grafik perbandingan pengujian kuat tekan batu bata dan variasi Bakteri *Bacillus Subtilis* 2%, 4%, dan 6% pada umur kultur empat Hari.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kuat Tekan

Pada grafik tersebut menunjukkan bakteri 6% umur kultur empat hari menghasilkan kuat tekan paling tinggi yaitu sebesar 32,04 Kg/Cm². Berdasarkan grafik tersebut diketahui variasi bakteri mempengaruhi hasil kuat tekan. Jumlah bakteri yang lebih banyak dalam variasi 6% meningkatkan lebih banyak bakteri akan berpartisipasi dalam reaksi biokimia yang membantu mengikat partikel batu bata dan menghasilkan kalsit yang lebih terikat (Mujah et al., 2016). Sebagai hasilnya, batu bata yang dihasilkan dari variasi 6% dapat memiliki struktur yang lebih padat dan kuat. Selain itu faktor lain yang dapat memengaruhi kuat tekan adalah faktor teknis dan lingkungan seperti efektivitas penyebaran reagen sementasi dalam tanah dan kemampuan bakteri untuk menghasilkan enzim urease (Fuadah et al., 2023).

Selain itu pada umur kultur empat hari juga mempengaruhi karena merupakan fase stasioner. Pada fase ini, jumlah bakteri hidup hampir seimbang dengan jumlah yang mati, meskipun bakteri masih dapat mempertahankan diri, sehingga menghasilkan jumlah bakteri yang lebih tinggi dibandingkan dengan fase pertumbuhan (Sharma et al., 2021). Namun walaupun kuat tekan meningkat, tidak memenuhi standar SNI-15-2094-2000 karena minimal kuat tekannya sebesar 50 Kg/Cm².

IV KESIMPULAN

Dari data pengujian yang dilakukan pada masa peram 28 hari, penambahan larutan bakteri *Bacillus subtilis*

sebanyak 6% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 32,04 Kg/Cm² meningkat 59% dibandingkan dengan batu bata tanpa perkuatan bakteri sebesar 20,11 Kg/Cm². Sedangkan dengan penambahan larutan bakteri sebesar 2% dan 4% memiliki kuat tekan sebesar 23,15 Kg/Cm² dan 26,19 Kg/Cm² masing-masing meningkat hingga 15% dan 30%. Oleh karena itu, penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* yang dicampur dengan larutan sementasi telah terbukti meningkatkan nilai kuat tekan pada batu bata. Namun, hasilnya masih belum memenuhi standar SNI 15-2094-2000 karena nilai kuat tekan yang tercapai masih di bawah 50 Kg/Cm².

REFERENSI

- Amir, M.Y. and Basry, W. (2019) 'Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi dan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Tanah Liat untuk Meningkatkan Kualitas Batu Bata', *Siimo Engineering : Journal Teknik Sipil*, 3(1), pp. 17–22.
- Apriani, I., Sutrisno, H. and Dini, M. (2023) 'Pemanfaatan Limbah Lumpur PDAM Gunung Poteng Kota Singkawang Sebagai Bahan Pengganti Tanah Liat Pada Pembuatan Batu Bata', *Jurnal Ilmu Teknik Lingkungan*, 21(1).
- Cahaya Putri Torano, M.A. (2022) *Karakteristik Kuat Geser Tanah Sedimen Yang Distabilisasi Dengan Bakteri Bacillus Subtilis*.
- Cheng, L., Shahin, M.A. and Cord-Ruwisch, R. (2014) 'Bio-cementation of sandy soil using microbially induced carbonate precipitation for marine environments', *Geotechnique*, 64(12), pp. 1010–1013. <https://doi.org/10.1680/geot.14.T.025>.
- Elisa, N., Djauhari, Z. and Yuniarto, E. (2018) 'Sifat Mekanik Beton Dengan Menambah Bakteri Bacillus Subtilis Untuk Aplikasi Beton Pulih Mandiri', *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, 5.
- Fernandes, F.M. (2019) 'Clay bricks', *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures: Degradation Mechanisms, Health Monitoring and Service Life Design*, pp. 3–19. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00001-7>.
- Fuadah, N.I., Rachman Djamaluddin, A. and Muhiddin, A.B. (2023) 'Design Engineering Study of the Unconfined Compressive Strength Characteristics of Organic Soil Stabilized with Bacillus Subtilis Bacterial', *Design Engineering*, 1, pp. 358–370.
- Hardiyatmo, H.C. (2002) *Mekanika Tanah I*. 3rd edn. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Harlan, M. and Lukman, S. (2020) 'Analisa Strategi Optimalisasi Limbah Dalam Upaya Meningkatkan Competitive Advantage Di Pt Xyz', *Menara Ilmu*, 14(2), pp. 89–98.
- Hasriana *et al.* (2018) 'A study on clay soil improvement with Bacillus subtilis bacteria as the road subbase layer', *International Journal of GEOMATE*, 15(52), pp. 114–120. <https://doi.org/10.21660/2018.52.97143>.
- Indriani, A.M. *et al.* (2021) 'Bioremediation Of Coal Contaminated Soil As The Road Foundations Layer', *International Journal Of Geomate*, 21(84), pp. 76–84. <https://doi.org/10.21660/2021.84.j2124>.
- Indriani, A.M. and Utomo, G. (2023) 'Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara', *Cived*, 10(1), p. 53.
- Indriani, A.M., Utomo, G. and Ryka, H. (2022) 'The Effect Of Microbially Induced Calcite Precipitation (Mip) On Shear Strength Of Coal Contaminated Soil', pp. 28–32.
- Marini, A. *et al.* (2019) 'Karakteristik Tanah Terkontaminasi Batubara Terstabilisasi Bakteri Sebagai Lapis Pondasi Jalan', *Pros. KNPTS ITB*.
- Marini Indriani, A., Utomo, G. and Syahputra, R. (2023) 'Pengaruh Siklus Basah Kering terhadap Perilaku Mekanik Tanah Lempung Stabilisasi Biosementasi dengan Bakteri Bacillus Subtilis', *Cived*, 10(2), pp. 2622–6774.
- Muhammad, Y. F. (2010). Unsur Hara Makro dan Mikro.
- Mujah, D., Shahin, M.A. and Cheng, L. (2016) 'State-of-the-Art Review of Biocementation by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) for Soil Stabilization', pp. 524–537. <https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1225866>.
- Rajasekar, A. *et al.* (2021) 'Microbially induced calcite precipitation performance of multiple landfill indigenous bacteria compared to a commercially available bacteria in porous media', *PLoS ONE*, 16(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254676>.
- Rajiv and Nirmaladevi (2021) 'Stabilization of Clay Soil by MICP using Ureolytic / Non-Ureolytic Bacteria', *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10(5), pp. 384–388. Available at: www.ijert.org.
- Rizal, F. *et al.* (2021) 'Pengaruh Penggunaan Bakteri Bacillus Subtilis terhadap Kinerja Mortar yang

Terpapar Sulfat', *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 5(1), pp. 113–121. SNI 16-2094-2000. (2000). *Batu Bata Pejal Untuk Pasangan Dinding*. Badan Standarisasi Nasional.
Sharma, M., Sood, G. and Chauhan, A. (2021) 'Bioprospecting beneficial endophytic bacterial

communities associated with *Rosmarinus officinalis* for sustaining plant health and productivity', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(8). <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03101-7>.