Jurnal Permukiman
Volume 19 Nomor 2, November 2024
DOI: https://doi.org/10.31815/jp.2024.19.98-106

ISSN: 1907 - 4352
E ISSN: 2339 – 2975

PEMANFAATAN BAKTERI UREOLITIK PADA BETON MUTU TINGGI UNTUK MENUTUP KERETAKAN AKIBAT KUAT TEKAN

Utilization of Ureolytic Bacteria in High Quality Concrete to Cover Cracks Due to Compressive Strength

M. Nuril Khair[1], Teuku Budi Aulia[2*], Yunita Idris[3]
[123]Program Studi Teknik sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jalan Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 2311
Surel: [1]mnuril@mhs.usk.ac.id, [2*]aulia@usk.ac.id, [3]yunita.idris@usk.ac.id

Diterima : 8 Agustus 2024; Disetujui : 12 Oktober 2024

Abstrak

Beton mutu tinggi merupakan pilihan utama untuk menangani beban tekan pada struktur bangunan kompleks seperti gedung tinggi, jembatan, bendungan, dan pelabuhan. Tekanan yang tinggi pada beton mutu tinggi dapat menyebabkan kerapuhan dan retakan. Salah satu solusi untuk memperbaiki retakan adalah dengan menambahkan bakteri yang dapat menghasilkan mineral melalui proses mikroba. Penelitian ini menggunakan bakteri ureolitik yaitu genus Staphylococcus (BSC), Bacillus (BB), dan Solibacillus (BBB). Setiap genus bakteri diuji dengan variasi 0,5%, 0,6%, dan 0,7%, dengan masing-masing 5 benda uji untuk setiap variasi dan 3 benda uji kontrol, total 48 benda uji. Setelah perawatan selama 7 hari, benda uji diberi beban untuk mendapatkan keretakan sebesar 26 MPa. Setelah keretakan terbentuk, dilakukan pengamatan pertumbuhan kalsit selama 7 hari berturut-turut selama 28 hari. Kuat tekan rata-rata beton terbesar yaitu pada benda uji BB variasi (0,6%). Pertumbuhan kalsit terbaik terjadi pada variasi 0,6% untuk genus Solibacillus (BBB1), genus bacillus (BB1) dengan variasi 0,6% dan 0,5% untuk genus Staphylococcus (BSC1). Analisis FTIR menunjukkan bahwa benda uji dengan bakteri Bacillus variasi 0,6% (BB1) dan Solibacillus variasi 0,6% (BBB1) memiliki serapan cahaya inframerah tinggi, sementara benda uji dengan Staphylococcus variasi 0,5% (BSC1) memiliki serapan cahaya lebih rendah. Ini menunjukkan kinerja lebih baik dari sampel tersebut.

Kata Kunci: *Solibacillus, bacillus, staphylococcus, kuat tekan, gugus fungsi.*

Abstract

High quality concrete is the primary choice for handling compressive loads in complex building structures such as tall buildings, bridges, dams, and ports. High pressure on high-quality concrete can lead to brittleness and cracking. One solution to improve cracking is by adding bacteria that can produce minerals through microbial processes. This research utilizes ureolytic bacteria, namely the genus Staphylococcus (BSC), Bacillus (BB), and Solibacillus (BBB). Each genus of bacteria was tested with variations of 0.5%, 0.6%, and 0.7%, with 5 test specimens for each variation and 3 control specimens, totaling 48 test specimens. After treatment for 7 days, the test specimens were subjected to a load to induce cracking of 26 MPa. After the cracks formed, observations of calcite growth were made for 7 consecutive days over 28 days. The highest average compressive strength of concrete was found in the BB variation (0.6%). The best calcite growth occurred at the 0.6% variation for Solibacillus genus (BBB1), the 0.6% and 0.5% variations for Bacillus genus (BB1), and the 0.5% variation for Staphylococcus genus (BSC1). FTIR analysis indicates that the test specimens with Bacillus bacteria at the 0.6% variation (BB1) and Solibacillus at the 0.6% variation (BBB1) exhibited high infrared light absorption, while the test specimens with Staphylococcus at the 0.5% variation (BSC1) showed lower light absorption. This demonstrates the better performance of those samples.

Keywords: *Solibacillus, bacillus, staphylococcus, compressive strength, functional groups.*

PENDAHULUAN

Beton berkualitas tinggi didefinisikan sebagai beton yang mampu menahan beban melebihi 41 MPa, namun kerap menunjukkan kecenderungan menjadi lebih rapuh daripada beton konvensional, menyebabkan retakan pada struktur yang dapat mengancam keamanan dan stabilitas bangunan. untuk mengatasi masalah ini, telah dikembangkan berbagai teknik perbaikan bertujuan dalam memperbaiki retakan, meskipun prosesnya seringkali berisiko, mahal dan memakan waktu. Salah

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

satu metode yang dianggap moderat adalah penggunaan *self-healing* beton, di mana bakteri yang mengandung sumber nutrisi kalsium dimasukkan ke dalam campuran beton saat pencampuran. Ketika terjadi retakan, bakteri tersebut akan memproduksi kalsium karbonat untuk menutupi retakan, menjadikannya terisolasi. Dengan menerapkan *self-healing* beton, kekuatan beton dapat melebihi kekuatan beton konvensional, meningkatkan secara keseluruhan kekuatan dan ketahanan struktural beton. Seiring dengan perkembangan ini, telah ada inovasi dalam beton yang memungkinkannya untuk secara otomatis memperbaiki kerusakan retak. Teknologi inovatif ini mencakup berbagai aplikasi dan memanfaatkan berbagai aditif, termasuk penggunaan bakteri ekstrak limbah sayuran. (Fauzaan, 2022).

Bakteri ureolitik merupakan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan urease, suatu enzim yang menyebabkan pengendapan kalsium karbonat (kalsit) . Mikroba ini memiliki potensi untuk digunakan dalam kegiatan bioremediasi, seperti membersihkan air tanah yang terkontaminasi atau menangani masalah didalam lingkungan lainnya, serta berguna didalam pembuatan beton sebagai salah satu komponen pada sebuah konstruksi. Proses pengendapan kalsium karbonat oleh bakteri ureolitik terjadi melalui enzim urease yang mengubah urea menjadi ammonia dan CO_2, meningkatkan pH dan konsentrasi karbonat. Genus bakteri seperti *bacillus, Staphylococcus, dan Solibacillus* termasuk dalam kategori bakteri ureolitik yang mampu menghasilkan enzim urease untuk pengendapan kalsium karbonat. Bakteri-bakteri ini dapat dicampurkan ke dalam beton untuk menciptakan proses pengendapan kalsium karbonat (Fitri dkk, 2023).

Dampak dari pengendapan kalsium karbonat terhadap beton meliputi pengurangan porositas, meningkatkan daya rekat dengan agregat, dan memperbaiki retakan yang mungkin terbentuk akibat beban yang diterima oleh struktur beton (Seru dkk, 2021). Dalam pemakain bakteri pada beton salah satu cara yang dapat digunakan yaitu metode enkapsulasi (Nathalie dkk, 2019).

Tanah diatome merupakan jenis batuan sedimen silika yang dominan mengandung silika, dengan persentase bervariasi antara 55% hingga 70%, tergantung pada kondisi lingkungan. Tanah ini terbentuk secara geologis melalui akumulasi dan pengendapan kerangka diatom, yang merupakan fosil dari tumbuhan dan hewan bersel tunggal. Diatom memiliki karakteristik mendasar, yaitu strukturnya yang unik, berat jenis yang rendah (sekitar 0,45), permukaan yang luas dan berpori-pori, serta warna yang bervariasi antara putih hingga coklat tergantung tingkat kontaminasi. Selain itu, mereka memiliki kemampuan konduktivitas listrik atau panas yang rendah dan tidak bersifat abrasif (Maulani, 2016). Salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan tercapainya masa pakai ekonomis struktur tersebut adalah ketahanannya. Dengan perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan yang tepat, tingkat ketahanan yang optimal dapat tercapai Kondisi beton yang disesuaikan lingkungan tempatnya berada dalam mempertimbangkan persyaratan struktural dan kondisi sekitarnya. Secara umum, perawatan beton dibagi menjadi dua metode. Metode pertama adalah perawatan basah yang melibatkan penyiraman air ke beton untuk menjaga kelembapan selama periode tertentu, dimulai setelah permukaan beton tidak lagi mengalami perubahan bentuk. Metode kedua adalah perawatan membran yang bertujuan untuk mengisolasi air di dalam beton tanpa memerlukan tambahan air eksternal untuk proses hidrasi, dikenal sebagai teknik pengendalian air (Rayyana dkk, 2019).

Kekuatan tekan mengacu pada kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas area dan berfungsi sebagai indikator kualitas struktur. Semakin tinggi kebutuhan akan kekuatan struktur, semakin tinggi pula mutu beton yang diperlukan. Evaluasi kekuatan tekan beton biasanya dilakukan melalui pengujian standar menggunakan benda uji silinder dengan dimensi standar tinggi 200 mm dan diameter 100 mm. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji yang memberikan kecepatan beban tekan pada beton mutu tinggi sebesar 1 ton/detik (Soesela, 2023). Prosedur pengujian ini umumnya mengacu pada standar SNI 1974-2011 (Fernando dkk, 2022).

Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung kuat tekan yaitu :

$$f'_c = \sigma = \frac{P}{A} \quad \text{.....} \quad (1)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton (Kg/cm^2)
P = Beban maksimum (Kg)
A = Luas alas permukaan benda uji (cm^2)

Dalam pengujian sampel bubuk beton yang ingin kita perhatikan karakteristik gugus fungsi dapat menggunakan metode *Fourier transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). FTIR merupakan metode analisis yang sangat esensial bagi para peneliti karena dapat mengenali berbagai macam sampel dalam beragam wujud seperti cairan, larutan, pasta, serbuk, film, serat, dan gas. Teknik ini juga bermanfaat untuk menganalisis materi yang melekat pada permukaan substrat. Kelebihan utama FTIR terletak pada kecepatan, akurasi, dan tingkat sensitivitas yang

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

tinggi. Dalam proses analisis FTIR, sampel diekspos pada radiasi inframerah (IR), yang menyebabkan atom-atom dalam molekul sampel bergetar, menghasilkan energi yang kemudian diserap atau ditransmisikan. Karenanya, FTIR berguna untuk mengidentifikasi getaran molekul khusus yang terdapat dalam sampel. Uji FTIR memberikan informasi tentang ikatan kimia dalam suatu sampel, yang dapat dilihat dari puncak-puncak yang berbeda.

Teknik ini awalnya diterapkan untuk mengukur ikatan antara fly ash, NaOH, kalsium karbonat dan lainnya. Prinsip kerja FTIR melibatkan langkah-langkah sebagai berikut: Pertama, zat yang akan diuji ditentukan dalam bentuk atom atau molekul. Kedua, cahaya inframerah dibagi menjadi dua bagian, satu melalui sampel dan satu melalui sinar referensi. Ketiga, kedua bagian cahaya tersebut melewati kisi prisma atau difraksi, lalu mengenai detektor yang mengubahnya menjadi sinyal listrik yang direkam oleh perekam. Keempat, jika sinyal yang dihasilkan terlalu lemah, digunakan penguat. Penggunaan standar juga penting dalam uji ini. Sampel-sampel yang dapat diuji meliputi pelet polimer, komponen, sampel berbulu, serat, bubuk, pelapis kawat, dan cairan. Untuk mengidentifikasi bahan yang dianalisis, spektrum serapan IR yang tidak dikenal dibandingkan dengan spektrum standar yang tersedia dalam *database* komputer atau dengan spektrum dari bahan yang sudah dikenal. Dari perbandingan tersebut, polimer atau komponen lain dalam sampel dapat diidentifikasi. Pita serapan dalam rentang bilangan gelombang 4000-1500 umumnya disebabkan oleh gugus fungsi seperti O-H, C=O, N-H, CH3, dan lainnya.

Rentang bilangan gelombang 1500-400, dikenal sebagai rentang sidik jari, memiliki pita serapan yang khas untuk setiap material, disebabkan oleh fenomena antarmolekul. Kekhasan pita ini memungkinkan pencarian data terkomputerisasi dalam perpustakaan referensi untuk mengidentifikasi suatu material (Sonali dkk, 2021).

Penelitian terdahulu dalam studi berjudul "*The Influence of Bacillus Megaterium Bacteria as Self-Healing Agents on the Compressive Strength of High-Quality Concrete*," signifikansi ditemukan dalam perubahan kekuatan tekan pada beton yang terkontaminasi dengan bakteri. Pada umur 7 hari, beton yang terkena paparan bakteri mengalami penurunan sekitar 2,01% dari kekuatan kontrol 45 MPa. Namun, pada silinder beton yang diuji setelah 28 hari, kekuatan tekan beton dengan bakteri meningkat sekitar 12,66% dari target 45 MPa pada beton kontrol. Ini menunjukkan dampak positif dari penggunaan bakteri sebagai agen *self-healing* terhadap peningkatan kekuatan tekan. Studi sebelumnya juga menunjukkan hasil serupa dengan peningkatan kekuatan tekan sekitar 15,86%. Retakan pada garis beton silinder yang tertutup oleh kalsit mulai berkembang setelah pembebanan selama 7 hari, dimulai dari hari ke-21 hingga hari ke-55 dengan panjang antara 0,6 mm hingga 2,7 mm.

Peningkatan persentase pada beton berkualitas tinggi cenderung lebih terbatas karena sifat beton yang padat dan memiliki sedikit rongga sebelum penambahan bakteri (Fauziah dkk, 2023). Kemudian dalam penelitian yang berjudul " Sintesis Kalsium Karbonat (CaCO3) dari Cangkang Telur oleh Metode Kalsinasi" didapatkan hasil pembacaan gugus fungsi senyawa kimia *spectrum* FTIR Yaitu yaitu Ca-O mendekati daerah frekuensi 713 cm^{-1}, C-H daerah frekuensi sekitar 876 $cm^{-1,}$ C-O daerah frekuensi sekitar 1421 cm^{-1} dan O-H daerah frekuensi sekitar 3628 cm^{-1} Pada frekuensi referensi gugus fungsi kalsium karbonat ialah 711.5 cm^{-1}, C-H daerah frekuensi sekitar 875.7 cm^{-1}, C-O daerah frekuensi sekitar 1433,1 cm^{-1} dan O-H daerah frekuensi sekitar 3275,1 cm^{-1} dapat dilihat bahwa hasil tersebut mencakup pada kesesuaian gugus fungsi yang mendekati sama seperti gugus fungsi referensi kalsium karbonat yang menandakan adanya kalsium karbonat (Muwafaq dkk, 2022).

METODE

Data penelitian berupa benda uji slinder yang berukuran diameter 10 cm dan panjang 20 cm. Pada penelitian ini, akan digunakan berbagai material termasuk semen portland jenis 2, air dari sumur Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan (LKBB) di Fakultas Teknik Unsyiah, Banda Aceh, sesuai dengan spesifikasi SNI 7974:2013 untuk pencampuran beton, silica fume, pasir, batu belah, dan bahan pendukung lainnya. Semen portland yang akan digunakan adalah semen jenis 2 yang diproduksi oleh PT. Semen Andalas Indonesia (SAI), yang telah memenuhi standar sni 2847:2019, sehingga analisis fisik tidak diperlukan.

Berikut benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini (Tabel 1).

Silica fume merupakan komponen yang memiliki pengaruh pada sifat kimia dan mekanik beton, terutama dalam meningkatkan kekuatan beton dengan mutu tinggi. *Silica fume* cenderung menurunkan suhu selama proses pengerasan semen dan meningkatkan kekuatan tekan beton setelah proses pengerasan selesai (Haris dkk, 2021). Dalam penelitian ini menggunakan bakteri ureolitik dengan genus *Bacillus, Solibacillus*, *Staphylococcus* yang diperoleh dari Kampung Jawa, di Kota Banda Aceh.

Dalam mendukung penelitian, akan digunakan beberapa peralatan seperti gelas ukur dengan tutup

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

pelat kaca, konis pasir (*metal sand cone mold*)

Tabel 1 Benda Uji Silinder

Benda Uji	Variasi Bakteri		
	0,5 %	0,6 %	0,7 %
Bacillus	BB 1	BB 1	BB 1
	BB 2	BB 2	BB 2
	Variasi Bakteri		
	BB 3	BB 3	BB 3
	BB 4	BB 4	BB 4
	BB 5	BB 5	BB 5
Solibacillus	BBB 1	BBB 1	BBB 1
	BBB 2	BBB 2	BBB 2
	BBB 3	BBB 3	BBB 3
	BBB 4	BBB 4	BBB 4
	BBB 5	BBB 5	BBB 5
Staphyloccus	BSC 1	BSC 1	BSC 1
	BSC 2	BSC 2	BSC 2
	BSC 3	BSC 3	BSC 3
	BSC 4	BSC 4	BSC 4
	BSC 5	BSC 5	BSC 5
Benda Uji Kontrol	0 %		
	BB 0		
	BBB 0		
	BSC 0		

dengan tongkat besi berdiameter 15 mm dan panjang 150 mm untuk memadatkan pasir, kontainer baja, tongkat besi berdiameter 1,6 cm dan panjang 60 cm untuk memadatkan agregat, *planetary mixer*, satu set saringan, oven, keranjang kawat, timbangan, alat pengaduk beton (molen), palu karet, cetakan benda uji pelat, cetakan benda uji silinder, mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*), dan palu karet.

Pada enkapsulasi digunakan untuk melindungi bakteri dalam lingkungan yang tidak ideal bagi mereka, seperti saat proses pengolahan, penyimpanan, atau pencernaan. Proses ini melibatkan melapis mikroorganisme dengan bahan yang disebut bahan pelindung. Proses enkapsulasi dimulai dengan mencampurkan bakteri, urea, *nutrient broth*, $CaCl_2$, air murni (*aquades*), dan tanah diatomae, kemudian diaduk menggunakan *planetary mixer* selama 10 menit. Campuran ini dibentuk menjadi butiran kecil berukuran 10 mm, lalu pelet tanah diatomae yang telah dienkapsulasi dilapisi dengan pasta semen FAS 0,5. Sebelum digunakan sebagai pengganti agregat, pelet enkapsulasi direndam dalam air selama 2 x 24 jam dan dikeringkan dengan cara dibiarkan terkena angin. Pelet tanah diatomae yang telah dienkapsulasi dengan *Nutrient Broth* dan $CaCl_2$ digunakan sebagai aditif dalam agregat halus.

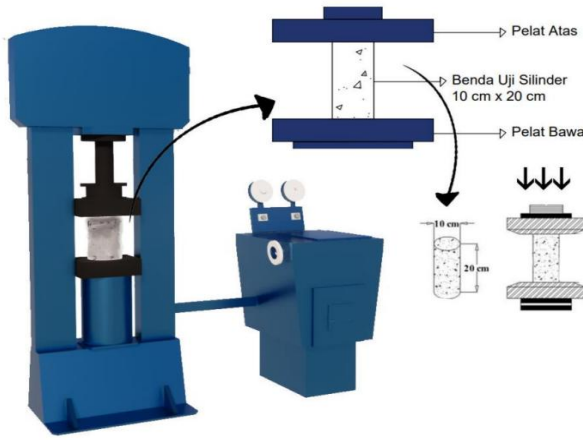
Tabel 2 Proporsi Pencampuran Larutan Bakteri Pada Enkapsulasi Setiap Bakteri

Variasi Bakteri	Bakteri (%)	Nutrient Broth (%)	Urea (%)	$CaCl_2.H_2O$ (%)
0,5 %	0.5	0.11	0.44	0.22
0,6 %	0.6	0.13	0.53	0.27
0,7 %	0.7	0.16	0.62	0.31

Proses pembuatan benda uji pelat melibatkan langkah-langkah seperti perancangan campuran beton mutu tinggi, enkapsulasi bakteri, pengecoran, dan pencetakan dalam cetakan silinder. Sementara itu, dalam proses pembuatan benda uji silinder, langkah-langkahnya mencakup perancangan campuran beton mutu tinggi, pengecoran, dan pencetakan dalam cetakan silinder. Untuk desain campuran beton mutu tinggi ini, diperkirakan target kekuatan Fc' sekitar 50 MPa, dengan faktor air semen sebesar 0,30, persentase penggunaan *silica fume* sebesar 8% dari berat semen, dan *superplastisizer* sebesar 2% dari berat semen, dan ini merupakan ketentuan yang sudah umum digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi. Agregat kasar yang akan dipakai ialah batu pecah dengan ukuran diameter maksimum 11 mm. Distribusi/ukuran butir yang direncanakan untuk campuran ini mencakup (0–2) mm, (2–4,76) mm, (4,76–8) mm, dan (8–11) mm, dengan penggunaan semen sebanyak 550 kg/m3 (Aulia, 2002). Proses enkapsulasi bakteri akan dilakukan dalam 3 segmen yang terletak pada jarak 1/3 dari panjang total benda uji, yang kemudian akan ditaburkan dan diaduk hingga merata ke dalam campuran beton. Enkapsulasi bakteri itu sendiri terdiri dari bakteri, urea, *nutrient broth*, $CaCl_2$, air murni (aquades), dan tanah diatome. rincian proporsi campuran ini dapat dilihat dalam Tabel 2. Pembuatan benda uji penelitian melibatkan serangkaian langkah yang dimulai dengan menggunakan mesin pencampur beton untuk mencampur bahan uji sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan sebelumnya. Langkah ini mencakup penimbangan teliti bahan-bahan sesuai dengan rencana komposisi, pencampuran dengan mesin pencampur beton, dan membersihkan peralatan setelah proses pencampuran selesai. Campuran beton kemudian dimasukkan ke dalam cetakan yang telah diolesi dengan oli untuk memudahkan proses pembukaan cetakan setelah beton mengeras. Dalam tahap pencampuran, bahan-bahan ditambahkan secara bertahap ke dalam mesin pencampur beton, dimulai dari agregat kasar, agregat halus, semen, *silica fume*, hingga air bersama *superplasticizer.* Penambahan air dan *superplasticizer* dilakukan secara bertahap selama

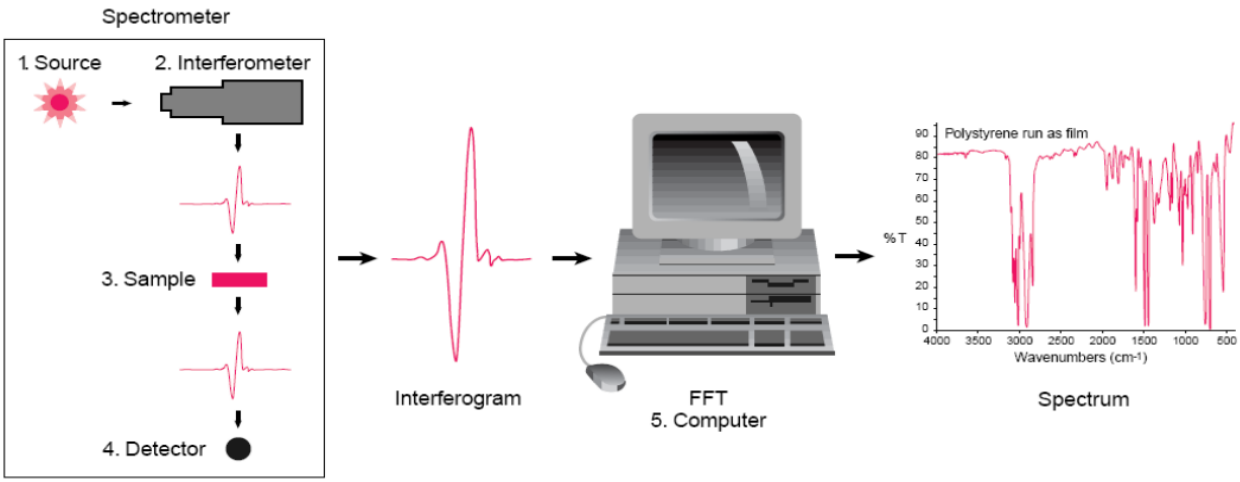
This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

proses pencampuran dengan waktu pencampuran optimal sekitar 10 menit. Setelah pencampuran, bakteri yang telah dienkapsulasi sesuai dengan variasi persentase direncanakan ditambahkan ke dalam campuran beton, kemudian dicampur kembali secara merata. untuk mengevaluasi kemampuan campuran beton dalam mengisi ruang. Campuran beton kemudian dimasukkan secara bertahap ke dalam cetakan silinder dengan volume 1/3 dari cetakan, lalu dipadatkan menggunakan tongkat besi polos berdiameter 160 mm dan panjang 600 mm dengan penerapan gaya jatuh bebas sebanyak 25 kali. Proses berlanjut dengan mengisi campuran beton hingga mencapai 2/3 dan 3/3 volume cetakan, yang juga dipadatkan menggunakan tongkat besi dengan gaya jatuh bebas sebanyak 25 kali. Setelah itu, sisi cetakan benda uji dipukul dengan palu karet untuk memastikan pemadatan merata dan permukaan diratakan. Total benda uji yang direncanakan adalah 48 silinder dengan dimensi 10 cm x 20 cm. Tahap selanjutnya melibatkan proses *capping* pada benda uji, di mana tujuannya adalah untuk mendapatkan permukaan yang rata sebelum dilakukan pengujian. Tebal *capping* harus mematuhi standar ASTM C617, berada dalam rentang 3 mm hingga tidak lebih dari 8 mm. Metode perawatan benda uji melibatkan pelepasan dari cetakan setelah benda uji mencapai usia 20 jam, namun tidak melebihi 48 jam. Selanjutnya, benda uji direndam dalam air pada suhu antara 21 hingga 25 derajat Celsius sesuai dengan standar SNI 03-2493-1991 tentang perawatan benda uji beton dan SNI 2493:2011 mengenai tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan menggunakan *compression strength tester*. Uji kekuatan tekan beton dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder beton berukuran 10 cm x 20 cm. Dalam pemberian kecepatan kuat tekan pada beton sebesar 1 ton/detik pada semua benda uji. Pemberian Kemudian diberikan pembebanan awal pada hari ke 7 dengan beban sebesar 26 MPa dari hasil perencanaan 70% kuat tekan rencana dari 50 MPa dikali koefisien berdasarkan korelasi umur 7 hari menurut PBI 1971 ialah 0,75. Kemudian diamati hasil pertumbuhan kalsit terbaik pada satu benda uji disetiap variasi pada keretakan yang bagus, selama 28 hari yang ditinjau 7 hari sekali. Perencanaan kuat tekan rencana beban ultimit diberikan pada hari ke 28 sebesar mencapai sekitar 50 MPa. Setelah dibebani kemudian diseleksi pada benda uji yang memiliki hasil pertumbuhan kalsit terbaik tersebut dihancurkan hingga berbentuk bubuk maka dilakukan pengujian FTIR untuk dapat membaca hasil gugus fungsi agar dapat mengetahui apakah terdapat kaslit pada hasil pembacaan *spectrum* FTIR.



Gambar 1 Pengujian Kuat Tekan

Sumber: Soesella - 2023



Gambar 2 Skema Pengujian FTIR

Sumber: Bahar – 2023

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut dapat diperhatikan tabel *mix design* yang dilakukan dalam pengecoran,

Tabel 3 Perencanaan Campuran Beton untuk 5 Benda Uji pada setiap variasi

Material	Berat	Satuan
Air	1,295	kg
Semen	4,318	kg
Silica fume	0,345	kg
Fine Sand	4,818	kg
Coarse Agregat (11-8)	1,730	kg
Coarse Agregat (8-4,6)	3,754	kg
Coarse Agregat (4,6-2,38)	1,743	kg
Superplastisizer	0,086	kg

Tabel 4 Perencanaan Enkapsulasi

Material	Berat	Satuan
0,5 %	0,94	Kg
0,6 %	1,04	Kg
0,7 %	1,14	Kg

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata dapat diperhatikan pada tabel berikut,

Tabel 5 Hasil pengujian Beban Kuat Tekan

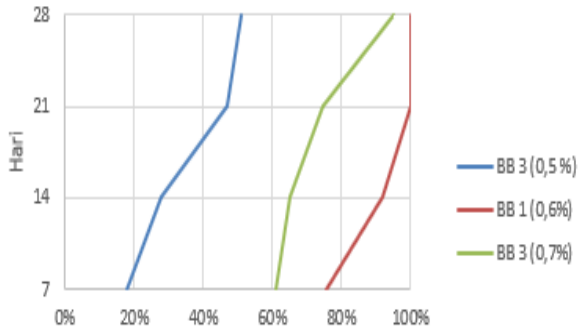
Benda Uji	Kuat Tekan Rata-Rata 28 hari (MPa)
BB 0	67
BBB 0	
BSC 0	
Bacillus	
BB (0,5 %)	51,86
BB (0,6 %)	60,05
BB (0,7 %)	50,86
Solibacillus	
BBB (0,5%)	48,30
BBB (0,6%)	51,35
BBB (0,7%)	53,50
Staphylococcus	
BSC (0,5%)	52,50
BSC (0,6%)	65,90
BSC (0,7%)	62,32

Dapat diperhatikan kuat tekan terbesar terdapat pada rata-rata benda uji kontrol, dan pada setiap variasi sudah mendapatkan hasil sesuai beban perencanaan yaitu diatas 50 MPa. Dapat dilihat benda uji dengan setiap genus bakteri yang terbaik terdapat pada variasi 0,6% genus bakteri *Staphylococcus.*

Tabel 6 Hasil Persentase Kenaikan Beban Kuat Tekan Setelah Pemberian Beban Retak Awal Terhadap Beban Maksmimum Hari Ke 28

Benda Uji	Persentase (%)
Bacillus	
BB (0,5 %)	99
BB (0,6 %)	131
BB (0,7 %)	96
Solibacillus	
BBB (0,5%)	86
BBB (0,6%)	97
BBB (0,7%)	106
Staphylococcus	
BSC (0,5%)	101
BSC (0,6%)	153
BSC (0,7%)	140

Pada Tabel 6 dapat dijelaskan bahwa persentase beban keretakan awal yang diberikan terhadap kenaikan beban pada pengujian kuat tekan maksimum pada hari ke 28, yang paling unggul hasil persentase kenaikan beban tekan rata-rata pada benda uji variasi 0,6% genus bakteri *Staphylococcus* yaitu sebesar 153%. Kemudian dapat dilihat pada grafik berikut mengenai perkembangan pertumbuhan kalsit dalam 28 hari yang ditinjau selama 7 hari sekali.

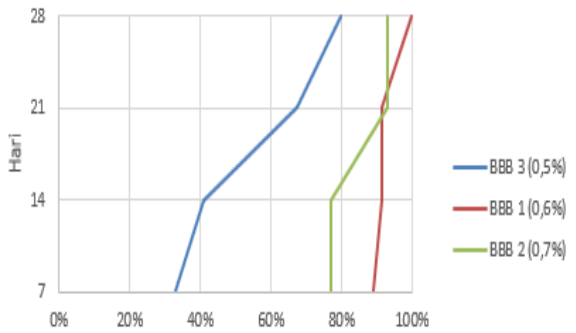


Gambar 3 Grafik Persentase Pengujian Kuat Tekan Beton *Bacillus*

Pertumbuhan kalsit yang paling optimal dapat diamati pada variasi BB 1 (0,6%) dibandingkan dengan variasi lainnya. Selain itu, kita dapat

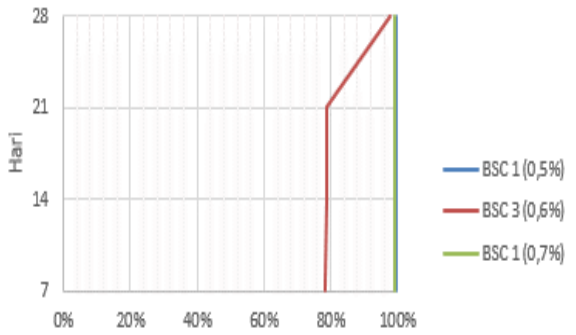
This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

mengevaluasi grafik pertumbuhan kalsit yang berbeda berdasarkan variasi bakteri *Solibacillus.*



Gambar 4 Grafik Persentase Pengujian Kuat Tekan Beton *Solibacillus*

Dapat diperhatikan pertumbuhan kalsit yang paling unggul terdapat pada variasi BBB 1 (0,6%) dibandingkan dengan variasi lain.

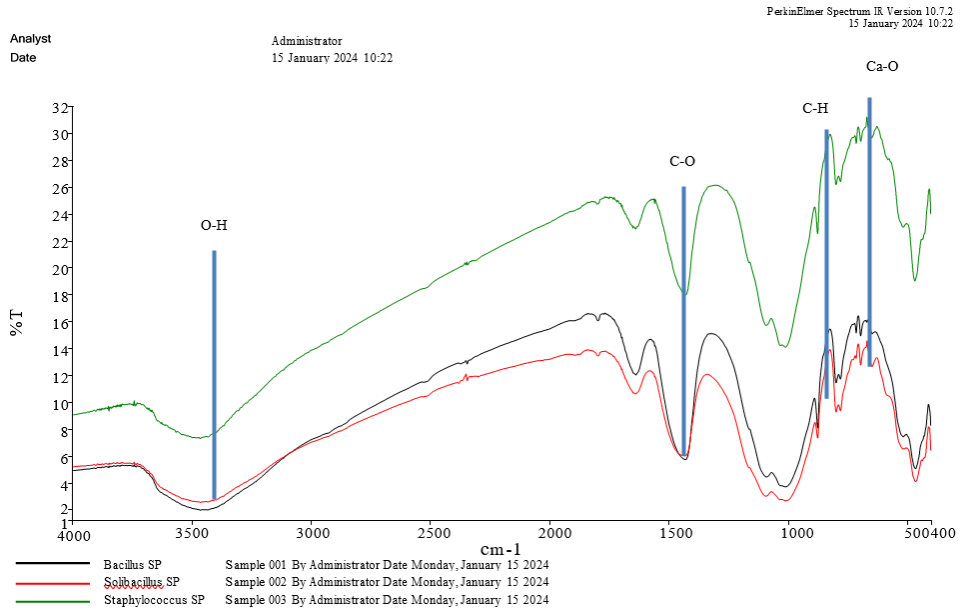


Gambar 5 Grafik Persentase Pengujian Kuat Tekan Beton Staphylococcus

Dapat diperhatikan pertumbuhan kalsit yang paling unggul terdapat pada variasi BSC 1 (0,5%) dibandingkan dengan variasi lain. Diketahui bahwa perbandingan antara beton bakteri *Bacillus* pada variasi yang berbeda, khususnya pada variasi BB 1 (0,6%), menunjukkan pertumbuhan kalsit yang lebih unggul dibandingkan dengan variasi lainnya 0,5% dan 0,7%. Selain itu, pada hasil pertumbuhan kalsit pada bakteri *Solibacillus*, variasi BBB 1 (0,6%) menunjukkan hasil pertumbuhan kalsit yang paling optimal dibandingkan dengan variasi lainnya. Demikian pula, pada variasi *Staphylococcus,* hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi BSC 1 (0,5%), pertumbuhan kalsit mencapai puncaknya dibandingkan dengan variasi lainnya. Hasil ini memberikan wawasan yang berharga terkait pengaruh konsentrasi bakteri tertentu pada pertumbuhan kalsit dalam konteks penelitian ini.

Kemudian hasil pengujian FTIR dapat diperhatikan pada Gambar 6.

Dari ketiga sampel tersebut puncak serapan gugus fungsi dari CaCO3 Yaitu Ca-O mendekati daerah frekuensi 711,5 cm^{-1}, C-H daerah frekuensi sekitar 875,7 cm^{-1}, C-O daerah frekuensi sekitar 1433,1 cm^{-1} dan O-H daerah frekuensi sekitar 3275,1 cm^{-1} (Ramasamy, 2018). Dari hasil analisis pada Tabel 6, dapat diamati bahwa kalsit yang terbentuk dalam gugus fungsi menunjukkan kesesuaian dengan daerah frekuensi referensi, dan setiap jenis bakteri menunjukkan variasi yang berbeda. Ditemukan bahwa daerah frekuensi yang dihasilkan oleh masing-masing bakteri tidak terlalu berbeda signifikan dari daerah frekuensi referensi yang berasal dari gugus fungsi kalsium karbonat.



Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian FTIR

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

Tabel 6 Hasil Data Pembacaan FTIR

NO	Ikatan	Sumber referensi cm^{-1}	Daerah frekuensi cm^{-1}
1	Ca-O	711.5	713,23
2	C-H	875.7	874,97
3	C-O	1433,1	1430,20
4	O-H	3275,1	3467,71
Bacillus – BB 1 (0,6%)			
1	Ca-O	711.5	694,54
2	C-H	875.7	875,17
3	C-O	1433,1	1432,06
4	O-H	3275,1	3467,52
Solibacillus - BBB 1 (0,6%)			
1	Ca-O	711.5	713,16
2	C-H	875.7	875,29
3	C-O	1433,1	1429,52
4	O-H	3275,1	3467,59
Staphylococcus - BSC 1 (0,5%)			

Meskipun demikian, pada Gambar 6 konsentrasi *Bacillus* dan *Solibacillus* dari hasil uji FTIR yaitu tingkat *transmittance* rendah, itu berarti bahwa sebagian besar cahaya pada panjang gelombang tertentu diserap oleh sampel, dan hanya sebagian kecil cahaya yang dapat melewati sampel. Ini menunjukkan adanya penyerapan pada panjang gelombang tersebut oleh gugus fungsi atau komponen kimia dalam sampel terlihat bahwa konsentrasi bakteri tersebut dibandingkan dengan variasi bakteri lainnya. Namun dari hasil daerah frekuensinya pembacaan dari ketiga jenis bubuk beton tersebut tidak jauh beda yang dihasilkan berdasarkan referensi yang digunakan dalam mengecek gugus fungsinya.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa dalam uji kuat tekan pada benda uji kontrol memiliki kuat tekan terbesar rata-rata 67 MPa. Sementara itu, benda uji dengan penggunaan bakteri menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata lebih dari 50 MPa, sesuai dengan standar yang direncanakan pada penelitian ini. Persentase tertinggi dalam beton mutu tinggi, yakni dengan bakteri *bacillus* variasi (0,6%), *solibacillus* variasi (0,6%), dan *staphylococcus* variasi (0,5%), menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kuat tekan pada pengujian hari ke 28. Dalam hasil pertumbuhan kalsit terjadinya faktor perbandingan ketiga bakteri dan setiap variasi pada beton karena tingkat pertumbuhan kalsit terhadap variasinya tidak terlalu berpengaruh didalam beton. Terjadi karena faktor bakteri yang aktivitasnya juga tidak langsung bekerja pada saat yang sama antara semua beton dalam menghasilkan kalsium karbonat untuk menutupi keretakan terhadap beton, namun pada tiap benda uji tiap sehari sekali memiliki perkembangan dalam pertumbuhan kalsit dan hasil penelitian pada ketiga jenis bakteri, bakteri *Staphylococcus* pada benda uji BSC 1 variasi 0,5% sebagai penghasil tercepat dalam menghasilkan kalsit yang menutup keretakan yang terjadi pada beton. Analisis FTIR dari hasil penelitian juga menunjukkan bahwa karakteristik puncak serapan gugus fungsi kalsium karbonat mengikuti daerah frekuensi referensi yang umum, jadi bisa di katakan bahwa yang dihasilkan oleh bakteri itu ialah kalsium karbonat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen pembimbing, orang tua, keluarga, asisten laboratorium, beserta teman-teman yang telah berpartisipasi dalam mewujudkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aulia, T. Budi. (2002). Effect of Polypropylene Fibers on The Properties of High Strength Concrete, Lacer No. 7, University of Leipzig, : 43 – 59.

Baharuddin. (2023). Studi Sifat Mekanis Dan Ikatan Kimia Pada Beton Dengan Penambahan Serat Rami, Universitas Teuku Umar.

Fauzaan. (2022). "Pengaruh Penambahan Ekstrak Limbah Sayuran Pengganti Sebagian Dari Berat Semen Terhadap Nilai Slump 60-80 Dan Nilai Kuat Tekan Beton Dalam Proses Self Healing Concrete." Indonesia.

Fauziah, Lulu, Siti Mutiara Murhayati, Luthfi Muhammad M, and Linda Aisyah. (2023). "Pengaruh Bakteri Bacillus Megaterium Sebagai Self-Healing Agent Pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi" 09 (03): 228–39. Indonesia.

Fernando, Robi., Agung Bhakti Utama, Eko Kusumo Friatmojo. (2022). "Studi Perbandingan Mutu Beton Normal Berdasarkan Variasi Pengambilan Agregat Kasar Di provinsi Jawa Tengah." ORBITH 18 : 28-36. Indonesia.

Fitri, Lenni, Teuku Budi Aulia, Amir Fauzi, and Galih Ahmad Kamil. (2023). "Characterization and Screening of Urease Activity of Ureolytic Bacteria from Landfills Soil in Banda Aceh, Indonesia." Biodiversitas 24 (2): 910–15. Indonesia.

Haris, Samun., Rizal Firdaus. "Pengaruh Penggunaan Silica Fume Powder Terhadap Kuat Tekan Beton." ISSN 6 (Juli 2021): 97-102. Indonesia.

Maulani, Emi. (2016). "Pemakaian Tanah Diatomae Sebagai Substitusi Semen Fas 0.30 Dengan Perlakuan Kalsinasi Untuk Produksi Beton Normal." Teras Jurnal 6 (1): 49–56. Indonesia.

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd

Muwafaq, Arsyul., Abdul Halim, Candra Aditya, M. Cakrawala. "Perbandingan PEenggunaan Dua Merk Silica Fume Dan Admixtures Sebagai Bahan Campuran Pada Beton Mutu Tinggi." Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan 2 (April 2022): 20-39. Indonesia.

Nathalie Sumeisey, Gabriella, Stella Deiby Umboh, and Trina Ekawati Tallei. (2019). "Penyalutan Bakteri Asam Laktat Menggunakan Nanopartikel Kitosan." Pharmacon 8 (4): 843–50. Indonesia.

Ramasamy, V., Anand, P., & Suresh, G. (2018). Synthesis and characterization of polymermediated CaCO3 nanoparticles using limestone: A novel approach. Advanced Powder Technology, 29(3), 818–834.

Rayyana, N, M Afifuddin, and Y Idris. (2019). "Pengaruh Substitusi Campuran Abu Ampas Tebu Dan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Pada Lingkungan." Journal of The Civil Engineering … 1 (1): 32–37. Indonesia.

Seru, Nobertus Rombe, Jonie Tanijaya, and Lisa Febriani. (2021). "Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO3) Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Mutu Tinggi." Paulus Civil Engineering Journal 3 (1): 70–75. Indonesia.

Soesella, Rossa, Daiyan. (2023). "Pengaruh Pengunaan Bakteri Bacillus SP. Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi" .Jim USK. IndonesiaSonali, Chereddy, Sri Durgaa, Nerella Rubena, Madduru Sri, Rama Chandb, Mikili Indirac, and Chava Venkatesha. 2021. "Bahan Beton Penyembuhan Diri" 15. Indonesia.

This is an open access article under CC-BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd