

Pemanfaatan Penggunaan Bakteri *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus* sp, dan *Thermoactinomyces* sp Sebagai Agen Self Healing Concrete pada Keretakan Beton

Adjie Gemilang Pratama¹⁾, Ir. M. Nuklirullah, S.T., M.Eng.²⁾, Dr. Ir. Fetty Febriasti Bahar, S.T., M.T.³⁾

¹⁾*Student of Civil Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Jambi University, Jambi, Indonesia*

²⁾*Civil Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Jambi University, Jambi, Indonesia*

³⁾*Civil Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Jambi University, Jambi, Indonesia*

**email: adjie.gemilannng.pratama@gmail.com*

Abstract

The development of concrete innovations was developed for various purposes by utilizing various additional materials mixed into the concrete. One of the goals of using added materials as an innovation is so that concrete can self-heal concrete or the ability to self-recovery against types of concrete cracks. This self-healing concrete uses bacteria from the genus *Bacillus* which have been identified as gram-positive and produce spores. This research used a solution of *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus* sp, and *Thermoactinomyces* sp with a percentage of 4%, 5%, and 6% in each concrete sample. The treatment method used is soaking for 28 days. The tests carried out in this research were coarse aggregate, fine aggregate, bacteria, slump, compressive strength, specific gravity, SEM and EDX. In the visual of concrete cracks, bacterial activity can be seen in covering the cracks in the concrete. In concrete specific gravity there is an increase in concrete based on the increase in the percentage value of bacteria used. In SEM and EDX testing, the compound content in the spores produces a lot of CaO (Calcium Oxide) compounds in covering gaps or cracks in concrete.

Keywords: *self healing concrete, bacillus megaterium, sporolactobacillus sp, thermoactinomyces sp, bakteri, keretakan beton*

1. Pendahuluan

Salah satu perkembangan inovasi-inovasi untuk beton yang dikembangkan dengan berbagai tujuan dengan memanfaatkan berbagai macam bahan tambah. Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat, kuat, dan stabil (SNI 7656:2012). Beton juga dapat didefinisikan sebagai suatu campuran yang terdiri dari pasir sebagai agregat halus, kerikil sebagai agregat kasar, semen, dan air. Terdapat salah satu tujuan perkembangan beton yaitu *self healing concrete* yang merupakan inovasi agar beton memiliki kemampuan untuk memperbaiki kerusakan jenis retak secara mandiri.

Perbaikan kerusakan secara mandiri ini menggunakan dan memanfaatkan bakteri yang dicampurkan ke dalam beton. Bakteri merupakan organisme yang dapat hidup pada berbagai habitat dan mampu menguraikan senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa sederhana untuk memperoleh zat-zat tertentu yang dibutuhkan dalam rangka mempertahankan hidupnya (Ariani, 2000). Bakteri yang digunakan merupakan bakteri yang berasal dari genus *Bacillus*, *Lactobacillus*, dan *Thermoactinomyces*. *Bacillus*, *Lactobacillus*, dan *thermoactinomyces* merupakan bakteri gram-positif berbentuk batang dan bergram positif serta membentuk endospore (Chylen & Jamilattur, 2020). Bakteri gram positif merupakan bakteri yang membentuk spora. Bakteri yang termasuk gram positif ada pada genus *Bacillus*, *Sporosarcina*, *Sporolactobacillus*, dan *Thermoactinomyces*.

Perbaikan retak pada beton terjadi karena ada pengendapan kalsium karbonat oleh bakteri. Kalsium karbonat akan membantuk mengisi retakan mikro dan mengikat bahan lain seperti pasir dan kerikil dalam beton (Kaur, M., Bhawna, & Lall, G.C., 2012). Pencampuran bakteri pada beton melalui persentase terhadap air yang digunakan. Setelah retakan terisi dengan kalsium karbonat, maka bakteri kembali ke tahap hibernasinya dan ketika terjadi keretakan lagi maka bakteri kembali aktif dan mengisi celah retak pada beton. Mekanisme tersebut adalah sebagai *Microbiologically Induced Calcium Carbonate Precipitation* (MICP). Sehingga bakteri tersebut dapat menutupi retakan yang terdapat pada beton. Pencegahan kerusakan pada retak yang terjadi membuat pencegahan juga terhadap pengeluaran biaya tambahan untuk perbaikan dan perawatan beton. Dengan adanya kemampuan untuk memperbaiki secara mandiri pada konstruksi beton yang mengalami keretakan, beton dengan struktur yang lebih tahan lama dapat dihasilkan, serta pembiayaan dan perawatan infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, bangunan dapat dikurangi (Khaliq & Ehsan, 2016).

2. Kajian pustaka

2.1. Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air. Dengan atau tanpa tambahan, membentuk massa yang padat dan kuat, serta stabil (SNI-7656-2012). Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan pasta yang terbuat dari semen dan air.

2.2. Self Healing Concrete

Self Healing Concrete merupakan perbaikan beton secara mandiri yang memanfaatkan bakteri sebagai campuran beton. *Self healing concrete* atau beton pulih mandiri adalah suatu kemampuan dimana beton yang mengalami retak atau *crack* dapat memperbaiki diri sendiri dengan menambahkan bakteri pada komposisi beton.

2.3. Bahan Penyusun

Beton memiliki komponen yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen, dan air. Berikut komponen dalam campuran beton dapat dilihat sebagai berikut:

2.3.1. Agregat Kasar.

Agregat kasar dapat berupa pecahan batu, pecahan kerikil atau kerikil alami dengan ukuran butiran minimal 5 mm dan ukuran butiran maksimal 40 mm.

2.3.2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batuan dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.

2.3.3. Semen

Semen adalah bahan campuran yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan langsung dengan air. Semen berfungsi sebagai perekat butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga sebagai bahan pengisi.

2.3.4. Air

Air adalah salah satu faktor penting karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga dapat berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi bleeding, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak keatas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang.

2.3.5. Bahan Tambah

Bahan tambah (admixture) merupakan bahan penyusun beton selain agregat kasar, agregat halus, semen, dan air, yang digunakan sebagai bahan penyusun beton dan ditambahkan pada saat atau selama proses pencampuran bahan-bahan beton untuk memodifikasi property. Pada beton normal biasanya tidak ada menambahkan bahan tambah additive, sedangkan untuk beton yang mempunyai variasi menggunakan bahan tambah baik kimia ataupun biologi (Tullah, Hidayat, 2019).

2.4. Bakteri

Bakteri adalah organisme yang memiliki dinding sel. Oleh karena itu, jika dikaji dari struktur selnya (kandungan dinding sel), maka bakteri dikelompokkan ke dalam tumbuhan. Bakteri merupakan mikrobiologi yang hidup dan sangat banyak disekitar kita, bentuknya sangat kecil sehingga tidak bisa dilihat dengan mata telanjang, seperti antara lain, berbentuk bulat (*kokus*), batang (*basil*), dan spiral (*sprilia*). Genus bakteri berbentuk batang (*basil*) yang membentuk endospora dan gram positif yaitu *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, *Sporosarcina*, dan *Thermoactinomyces* (Chylen, 2020).

2.5. Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian agregat halus dan agregat kasar adalah berat volume agregat, analisis saringan agregat kasar dan halus, Analisis kandungan zat organik pada agregat halus, uji kadar lumpur agregat halus, uji kadar air agregat, berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus, uji keausan agregat kasar dengan mesin los angeles.

2.6. Uji Urease pada Bakteri

Uji urease berfungsi untuk mengetahui kandungan enzim urease pada bakteri sehingga dapat menguraikan urea membentuk amoniak. Hasil uji urease dapat diketahui negative (-) ditandai dengan pada media tidak mengalami perubahan warna menjadi warna merah jambu atau pink. Apabila positif (+) ditandai dengan pada media mengalami perubahan warna merah jambu atau pink, dapat diartikan bahwa bakteri memiliki enzim urease sehingga dapat memecah urea menjadi amoniak (Antriana, 2014)

2.7. Perencanaan Campuran Beton

Tujuan perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, air dengan atau tanpa bahan tambah yang memenuhi kriteria workability, kekuatan, durability, dan penyelesaian akhir yang sesuai dengan spesifikasi. Kebutuhan *mix design* beton dilakukan berdasarkan SNI 7656:2012 tentang “Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa”.

2.8. Workability

Workability adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami bleeding (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan. Menurut Firdausia (2018), kelecakan merupakan tingkat kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dan dipadatkan serta tidak terjadi pemisahan/segregasi.

2.9. Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton merupakan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji Beton hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

2.10. Mekanisme Proses Bakteri Membentuk CaCO_3

Jalur biogeokimia self healing concrete salah satunya dapat melibatkan hidrolisis microbial urea yang dikatalis oleh enzim urease. Sel bakteri penghasil urease menempel pada permukaan partikel beton. Bakteri tersebut kemudian menyebabkan gradiasi mikro pada konsentrasi karbonat dan pH karena adanya proses hidrolisis urea oleh urease dari bakteri tersebut (Ivanov, 2015). Proses hidrolisis urea terdiri dari beberapa reaksi. Urea awalnya akan dihidrolisis menjadi karbonat dan ammonia. Karbonat kemudian dihidrolisis secara spontan untuk menghasilkan asam karbonat dan ammonia. Kemudian menjalani hidrolisis dengan konstanta kesetimbangan masing-masing. Dengan adanya kalsium terlarut proses ini dapat menyebabkan pengendapan CaCO_3 dengan ketentuan bahwa medium tersebut jenuh dengan CaCO_3 (Varalakshmi & Devi, 2014).

3. Metodologi penelitian

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian Pengaruh Penggunaan Bakteri sebagai Agen *Self Healing Concrete* dilaksanakan dari bulan Mei 2023 hingga Juli 2023. Lokasi penelitian ini dilakukan di laboratorium UPTD Balai Pengujian Provinsi Jambi, Jl. R. B. Siagian No. 01, Kel. Pasir Putih, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi, Prov. Jambi. Penelitian bakteri dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Adi Wangsa Jambi, Jl. Sersan Muslim RT. 14, Thehok, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi, Jambi. Serta pengujian kandungan spora bakteri yang menutupi keretakan diuji di Unit Pelayanan Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip. Jl. Prof. H. Soedarto. Sh. Tembalang, Kota Semarang.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian pengaruh penggunaan bakteri sebagai agen *self healing concrete* berupa timbangan, tongkat pemadat, sekop, satu set saringan, oven dan

kompas, sieve shaker, talam, kuas, piknometer, mesin los angeles, wadah baja, sendok baja, botol gelas tembus pandang, gelas ukur, corong, cetakan kerucut pasir, pelat kaca, kompor listrik, alat penggetas (*vibrator*), capping beton, concrete mixer, palu karet, mesin kuat tekan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan bakteri *Bacillus megaterium*, *Sporolactobacillus* sp, dan *thermoactinomyces* sp.

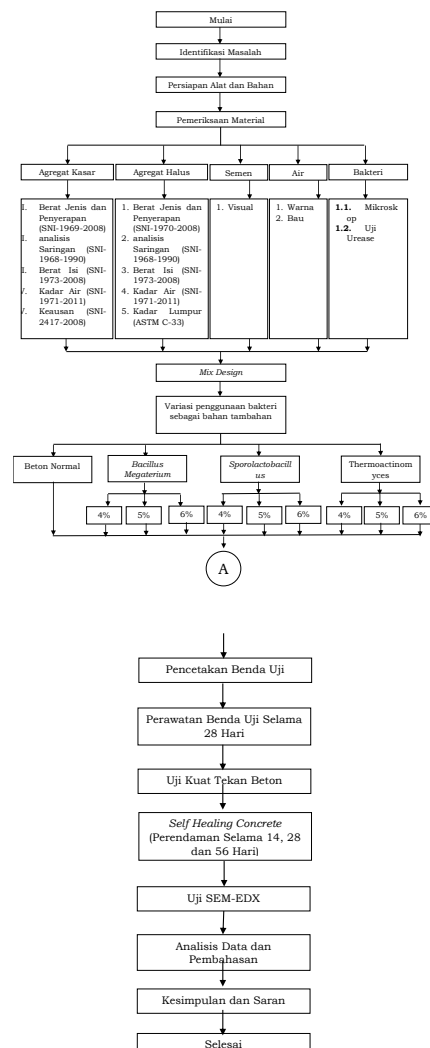
3.3. Metode penelitian

Metode penelitian mengenai pengaruh penggunaan bakteri sebagai agen self healing concrete dilakukan dengan metode eksperimen. Metode penelitian secara eksperimen untuk mengetahui pengaruh penggunaan bakteri sebagai agen self healing concrete pada keretakan

3.4. Variabel penelitian

Some text. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu penambahan pengaruh penggunaan bakteri dengan persentase masing-masing bakteri 4%, 5%, dan 6%. Serta variabel terikat pada penelitian ini yaitu self healing concrete.

3.5. Bagan alir penelitian



Lampiran 1. Bagan Alir Penelitian

Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. Hasil dan pembahasan

4.1. Pengujian Bahan

Hasil dan pembahasan mengenai penelitian Pemanfaatan Penggunaan Bakteri *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus Sp*, dan *Thermoactinomyces Sp* sebagai Agen Self Healing Concrete pada Keretakan Beton sebagai berikut.

4.1.1. Agregat Kasar

Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar

Parameter	Nilai	Standar
Berat isi (kg/m ³)	1459,33	SNI-03-4804-1998
Analisis saringan (gradasi)	No.57	ASTM C-33
Kadar air (%)	4	SNI 1971:2011
Berat jenis	2,559	SNI 1969:2008
Penyerapan (%)	1,944	SNI 1969:2008
Keausan (%)	26,526	SNI 2417:2008

Sumber : Data Penelitian

4.1.2. Agregat Halus

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus

Parameter	Nilai	Standar
Berat isi (kg/m ³)	1327,135	SNI-03-4804-1998
Analisis saringan (gradasi)	No.4	ASTM C-33
Kadar lumpur (%)	4,48	SNI S-04-1989
Kadar air (%)	12,15	SNI 1971:2011
Berat jenis	2,551	SNI 1970:2008
Penyerapan (%)	4,058	SNI 1970:2008

Sumber : Data Penelitian

4.1.3. Semen

Penelitian ini digunakan semen *portland* dengan merek Dynamix PCC 50 Kg. Semen Dynamix yang digunakan dilakukan pemeriksaan secara visual dan secara fisik. Hasil yang didapatkan dari pemeriksaan semen secara visual yaitu semen yang digunakan memiliki bentuk yang berbutiran halus, tidak ada gumpalan dan memiliki warna abu-abu.

4.1.4. Air

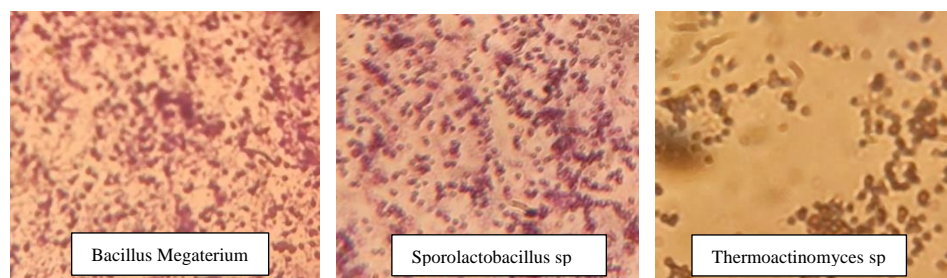
Penelitian ini menggunakan air yang tersedia di Laboratorium UPTD Balai Pengujian Provinsi Jambi yang bersumber dari PDAM. Air yang digunakan untuk campuran beton yang tersedia di laboratorium setelah dilakukan pemeriksaan didapatkan hasil bahwa air tersebut bersih, tidak berbau, dan tidak berwarna dan berdasarkan SNI 2847:2019 air yang tersedia di laboratorium yang bersumber dari PDAM dapat digunakan sebagai bahan campuran beton.

4.1.5. Bakteri

Tabel 3. Hasil pengujian bakteri

No.	Parameter	Metode	Jenis Bakteri		
			<i>Bacillus Megaterium</i>	<i>Sporolactobacillus sp</i>	<i>Thermoactinomyces sp</i>
1	Uji Gram	Pewarnaan Gram	positif (+)	positif (+)	positif (+)
2	Uji Urease	Urea Broth Base	positif (+)	positif (+)	positif (+)
3	Uji Suhu 19 C	Plate count	Negatif (-)	positif (+)*	positif (+)**
4	Uji Suhu 37 C	Plate count	Negatif (-)	positif (+)*	positif (+)**
5	Uji Suhu 45 C	Plate count	Negatif (-)	positif (+)*	positif (+)*
6	Perhitungan Koloni	Colony Counter	4,5 x 10 ⁻⁶	1,13 x 10 ⁻⁷	2,20 x 10 ⁻⁷

Sumber : Data Penelitian



Gambar 2 Pewarnaan Gram Bakteri

Penelitian ini digunakan penambahan isolat bakteri yaitu bakteri *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus Sp*, dan *Thermoactinomyces Sp* ini dilakukan pengecekan dengan pewarnaan gram pada preparate yang diamati dengan mikroskop binokuler. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bakteri tersebut termasuk pewarnaan gram positif. Selain pengecekan yang dilakukan melalui pewarnaan gram, pada penelitian ini dilakukan pengecekan suhu untuk pertumbuhan bakteri. Suhu adalah salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba. Pengujian urease juga menghasilkan hasil yang positif dimana bakteri dapat mengurai urea, serta pada pengujian bakteri dihitung juga jumlah koloni untuk mengetahui kepadatan sel bakteri per ml menggunakan alat *colony counter*.

4.2. Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Tabel 4. Proporsi Bahan Campuran Beton

Variasi (%)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Bakteri (kg)
Beton Normal	16,892	10,745	7,137	3,069	
BBM4	16,892	10,745	7,137	2,946	0,123
BBM5	16,892	10,745	7,137	2,916	0,153
BBM6	16,892	10,745	7,137	2,885	0,184
BS4	16,892	10,745	7,137	2,946	0,123
BS5	16,892	10,745	7,137	2,916	0,153
BS6	16,892	10,745	7,137	2,885	0,184
BT4	16,892	10,745	7,137	2,946	0,123

BT5	16,892	10,745	7,137	2,916	0,153
BT6	16,892	10,745	7,137	2,885	0,184

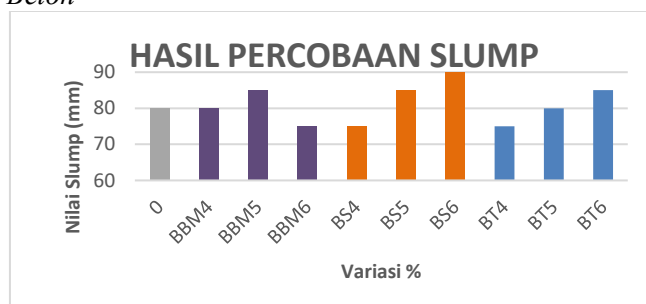
Sumber: Data Penelitian

setelah dilakukan perhitungan *mix design* beton yang mana didapatkan proporsi bahan campuran beton pada setiap variasi beton, selanjutnya dilakukan penimbangan untuk masing-masing bahan campuran beton sesuai proporsi bahan campuran beton dari hasil *mix design* beton

4.3. Pelaksanaan Campuran Beton

Tahapan pelaksanaan campuran beton ini telah dilakukan sesuai dengan SNI 2493:2011.

4.4. Percobaan Slump Beton



Gambar 3 Diagram slump beton

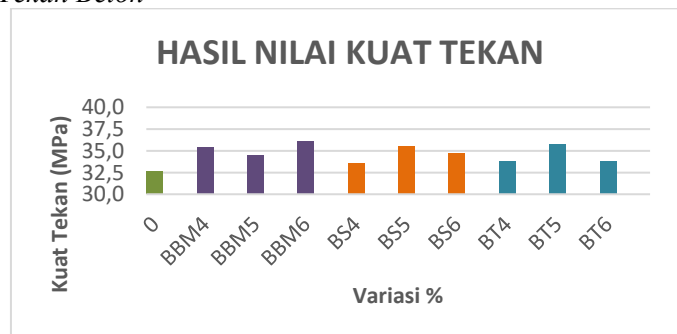
Sumber: Data Penelitian, 2023

Persentase nilai slump beton SHC terhadap beton normal seperti pada **gambar 4** menjelaskan pada beton dengan persentase variasi kandungan bakteri *Bacillus Megaterium* terhadap pergantian sebagian berat air 5% mengalami kenaikan nilai slump menjadi 85 mm dan mengalami penurunan pada variasi kandungan bakteri *Bacillus Megaterium* terhadap pergantian sebagian berat air 6% dengan nilai slump 75 mm. Pada beton dengan persentase variasi kandungan bakteri *Sporolactobacillus* sp terhadap pergantian sebagian berat air 5% mengalami kenaikan nilai slump menjadi 85 mm dan 90 mm pada variasi 6%. Beton dengan persentase variasi kandungan bakteri *Thermoactinomyces* sp terhadap pergantian sebagian berat air 5% dan 6% juga mengalami kenaikan nilai slump menjadi 80 mm dan 85 mm.

4.5. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton

Tahapan pembuatan dan perawatan benda uji beton ini telah dilakukan sesuai dengan SNI 2493:2011.

4.6. Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar 4 Diagram Kuat Tekan Beton

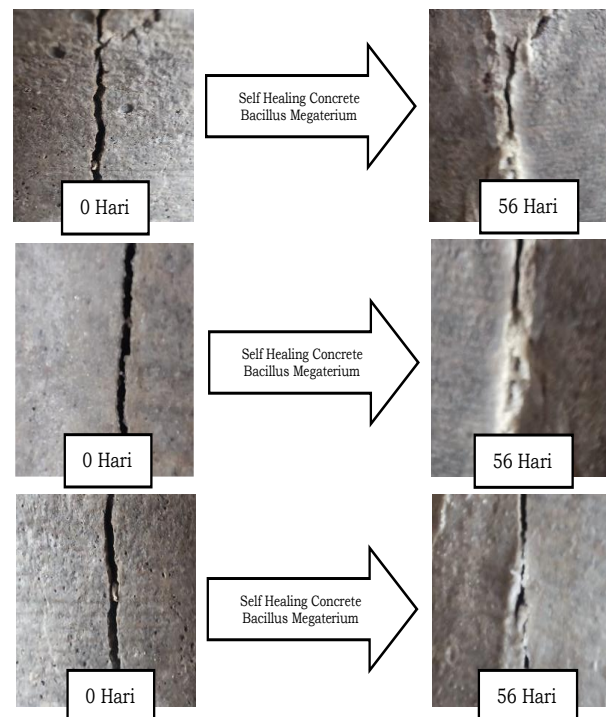
Sumber: Data Penelitian, 2023

Beton dengan menggunakan bakteri *Bacillus Megaterium* sebagai pengganti sebagian air hasil nilai kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan yaitu pada variasi 6% dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan 36,054 MPa. Beton dengan penambahan bakteri *Sporolactobacillus sp* dengan hasil nilai kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan yaitu pada variasi 5% dengan nilai kuat tekan 35,551 Mpa. Beton dengan penggunaan bakteri *Thermoactinomyces sp* sebagai pengganti sebagian air dengan hasil nilai kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan yaitu pada variasi 5% dengan nilai kuat tekan 35,692 MPa.

4.7. Self Healing Concrete

Hasil dan pembahasan mengenai penelitian Pemanfaatan Penggunaan Bakteri *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus Sp*, dan *Thermoactinomyces Sp* sebagai Agen Self Healing Concrete pada Keretakan Beton yang telah dilakukan untuk mengetahui self healing concrete pada beton setelah uji kuat tekan sebagai berikut.

4.7.1. Pengamatan visual



Gambar 5. Hasil Visual *Self Healing Concrete* Pada Beton

Sumber: Data Penelitian,

Berdasarkan **gambar 4** beton yang memiliki kandungan bakteri pada hari ke 56 sudah terlihat jelas adanya hasil aktivitas bakteri yang menutupi rongga atau celah retakan pada beton. Pada permukaan sampel terjadi perubahan warna sampel menjadi lebih putih dibandingkan beton normal, hasil sentuhan jadi pada permukaan sampel dengan penekana, terdapat serbuk putih yang menempel dan diketahui merupakan endapan kalsit atau zat kapur yang terbentuk dari aktivitas bakteri (Erfin Setiawan, dkk ,2023).

4.7.2. Perbandingan berat beton

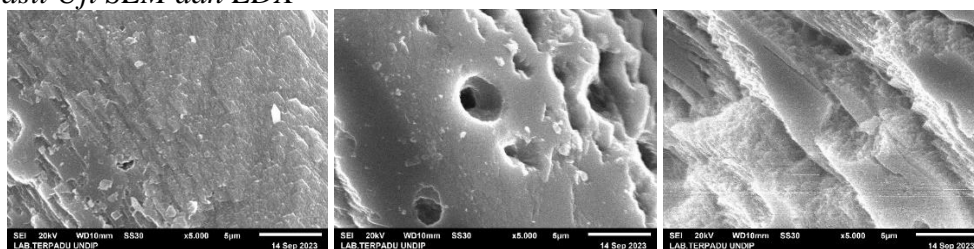
Tabel 5 Peningkatan berat beton

No.	Nama Sampel Beton	Peningkatan (%)		No.	Nama Sampel Beton	Peningkatan (%)	
		0-56 hari	rata-rata			0-56 hari	rata-rata
1	0	0,0	0,0	16	BS5	1,2	1,2
2		0,0		17		1,7	
3		0,0		18		0,8	
4	BBM4	1,2	1,2	19	BS6	1,4	1,8
5		1,1		20		2,1	
6		1,3		21		1,8	
7	BBM5	0,9	1,1	22	BT4	1,4	1,3
8		1,2		23		1,5	
9		1,0		24		1,0	
10	BBM6	1,1	1,8	25	BT5	1,5	1,6
11		1,5		26		1,1	
12		2,7		27		2,3	
13	BS4	1,6	1,2	28	BT6	1,5	1,8
14		1,2		29		3,0	
15		1,0		30		0,9	

Sumber: Data Penelitian, 2023

Beton dengan menggunakan *bakteri Bacillus Megataerium* sebagai pengganti sebagian air pada berat beton yang dihasilkan meningkat dari pada beton normal, peningkatan berat beton yang paling tinggi dihasilkan pada variasi 6%. Beton dengan penambahan *bakteri sporolactobacillus sp* mengalami peningkatan pada berat betonnya yang melebihi peningkatan dari beton normal berat beton yang paling tinggi dihasilkan pada variasi 6%. Sedangkan untuk beton dengan penambahan *bakteri Thermoactinomyces sp* mengalami peningkatan pada berat betonnya yang melebihi peningkatan berat beton dari beton normal kuat tekan yang paling tinggi dihasilkan pada variasi 6%.

4.7.3. Hasil Uji SEM dan EDX



Gambar 6 Hasil Uji SEM

Sumber : Laboratorium Terpadu Universitas Diponogoro, 2023

Tabel 6 Hasil Uji Kandungan Spora Bakteri

No.	Nama Sampel Uji	Parameter	Satuan	Nilai Hasil Analisis	Metode Uji (SNI)/Alat
1	SP 23-1849-06-02-1 (S-BBM)	C MgO	%Berat	34,82 0,07	SEM EDX

2	SP 23-1849-06-02-2 (S-BS)	SiO2	0,06
		CaO	65,06
		C	31,35
		SiO2	0,19
		CaO	68,41
3	SP 23-1849-06-02-3 (S-BT)	FeO	0,06
		C	30,42
		MgO	0,06
		Al2O3	0,69
		SiO2	0,26
		K2O	0,08
		CaO	68,31
		FeO	0,18

Sumber : Laboratorium Terpadu Universitas Diponogoro, 2023

Berdasarkan **tabel 6** dan **gambar 6** hasil dari pengujian dengan metode SEM EDX didapatkan bahwa senyawa yang banyak terkandung dalam spora Bakteri *Bacillus Megaterium*, *Sporolactobacillus Sp*, dan *Thermoactinomyces Sp* dan mengisi celah retakan pada beton adalah CaO (Kalsium Oksida) sebesar 65,06%, 68,41%, dan 68,31%. Dimana material senyawa tersebut terbentuk akibat aktivitas bakteri. Kalsium Oksida atau biasa disebut kapur adalah senyawa kimia yang banyak digunakan sebagai bahan dasar semen. Senyawa ini juga dapat bermanfaat pada beton untuk meningkatkan kuat tekan dalam pembuatan beton (Temuujin et al 2005).

5. Penutup

Hasil Penelitian menunjukkan Perbandingan *self healing concrete* yang menggunakan campuran variasi bakteri dengan beton normal secara visual menunjukkan bahwa adanya kemampuan pulih mandiri pada beton dengan menggunakan persentase bakteri sebagai penggantian sebagian air dengan adanya perkembangan spora bakteri yang menutupi pada permukaan celah retak beton dibandingkan beton normal. Serta pada berat beton dengan campuran variasi persentase bakteri mengalami penambahan berat seiring celah retak beton yang tertutupi. Self Healing Concrete dari campuran variasi bakteri pada beton menunjukkan bahwa material yang banyak dihasilkan dalam peran mengisi celah keretakan beton adalah CaO (Kalsium Oksida). Kalsium Oksida dapat meningkatkan kuat tekan beton dari kuat tekan rencana

Saran pada penelitian selanjutnya tidak sebatas proses self healing concrete, bisa saja melakukan pengujian kuat tekan kembali setelah proses self healing concrete

References

- [1] American Standart Testing and Material. 2003. ASTM C 33 – 03. Standard Specification for Concrete Aggregates West Conshohocken.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 1970. SNI 1970-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 1974. SNI 03-1974. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- [5] Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1973-1990. *Metode Pengujian Berat Isi Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. 1991. SNI 2417:1991. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [9] Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [10] Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 1973-2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [11] Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 1971:2011. *Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [12] Badan Standarisasi Nasional. 2012. SNI 7656:2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [13] Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 1969:2016. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [14] Badan Standarisasi Nasional. 2018. SNI 1972:2018. *Cara Uji Slump Beton*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [15] Hatmanti, Ariani. 2000. *Pengenalan Bacillus SPP*. Jakarta : Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- [16] Herlambang, Wahyu & Saraswati, Asih. 2017. “*Bio Concrete : Self healing Concrete*, Aplikasi Mikroorganisme sebagai solusi pemeliharaan infrastruktur rendah biaya”. Surabaya : Universitas Airlangga.
- [17] Kaur, M., Bhawna, & Lall, G.C.. 2012. “Renewed approach of integration WLAN & UMTS and handover.” *Intt.J. Computt. Appl*, 44(10): 31-35.
- [18] Khaliq, W., and Ehsan, M. 2016. “ Crack healing in concrete using various bio influenced self-healing techniques.” *Construction and Building Material*. 102 : 349-57.
- [19] Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: Andi.
- [20] Pane, Tanudjaja & Windah. 2015. *Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Variasi Kuat Tekan Beton*. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [21] R. Z. Rahmawan., M. Fauzan., H. Putra., & Erizal. 2021. *Aplikasi Bakteri sebagai Agen Self Healing pada Beton*. Yogyakarta : Institut Pertanian Bogor.
- [22] Rini, Chylen Setiyo & Rochmah, Jamilatu. 2020. *Bakteriologi Dasar*. Jawa Timur : Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- [23] Setiawan, Erwin., Wahyuni, Yuni Sri., & Kartika, Nia. 2023. *Analisis Efektifitas Kemampuan Pulih Mandiri Micro Crack pada Self Healing Concrete*. Jawa Barat : Universitas Muhammadiyah Sukabumi.
- [24] Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- [25] Syahar, Arief. 2015. *Pengaruh Perawatan Terhadap Kuat Lentur Beton*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- [26] Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- [27] Tullah, Hidayat. 2019. *Studi Eksperimental Pengaruh Persentase Campuran Bakteri Bacillus Cereus terhadap Kuat Tekan Beton pada Self Healing Concrete (SHC)*. Palembang : Universitas Sriwijaya