

BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* SEBAGAI AGEN *SELF HEALING CONCRETE* DENGAN VARIASI PERSENTASE DAN NILAI PH

Fauzan Gumelar as'at¹⁾, Rika Nuraini²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta.

Email : gumelar.ujan07@gmail.com; rika.nuraini@gmail.com

ABSTRAK

Material yang selalu digunakan sebagai pengisi dari struktur adalah beton, dikarenakan memiliki kuat tekan yang kuat dan pembuatannya mudah. Sampai saat ini, telah banyak dilakukan berbagai inovasi terhadap beton dan salah satunya adalah dengan memanfaatkan bakteri agar beton dapat memiliki kemampuan untuk menutup kerusakan berupa retakan secara mandiri atau biasa disebut dengan *self healing concrete*. Tujuan pada penelitian kali ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari beton dengan bahan tambah bakteri *bacillus subtilis* yang dienkapsulasi dengan persentase sebesar 0,5% dan 1%. Beton tersebut akan diuji kuat tekan dan dibandingkan dengan beton normal. Setelah itu, beton dengan bahan tambah kapsul bakteri akan direndam dalam air selama 14 hari dengan nilai pH yang berbeda-beda sebagai pengujian *self healing concrete*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton normal 25,18 Mpa, beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri sebesar 0,5% memiliki nilai kuat tekan 24,51 Mpa, dan beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri sebesar 1% memiliki nilai kuat tekan 26,20 Mpa. Pengujian *self healing concrete* menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri sebesar 0,5% pada perendaman air dengan nilai pH 7 selama 14 hari, dinilai yang paling baik dalam menutupi retak pada beton.

Kata kunci : *self healing concrete, bakteri, pH*

ABSTRACT

Material always used for filler of structure is concrete, because it has strong pressure force and it is easy to make. So far, there are many innovations of concrete and one of these is to use bacteria to make the concrete have ability to recover damages individually named self-healing concrete. This study aimed at finding effect of concrete using additional material of bacteria named *bacillus subtilis* encapsulated in 0,5% and 1%. The concrete would be tested for its pressure force and it was compared to normal concrete. After that, the concrete with additional material of capsulated bacteria would be soaked for 14 days in water in different values of pH to test the self-healing concrete. The results of study indicate that value of pressure force of normal concrete was 25,18 MPa, concrete with additional material of encapsulated bacteria of 0,5% had pressure force value of 24,51 MPa, and concrete with additional material of encapsulated bacteria of 1% had pressure force value of 26,20 MPa. Test for self-healing concrete indicated that concrete with additional material of encapsulated bacteria of 0,5% in water soaking with pH value of 7 for 14 days was found best to recover the cracked concrete.

Keywords : *self-healing concrete , baciteria, pH*

1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini, telah banyak inovasi-inovasi untuk beton yang dikembangkan dengan berbagai tujuan tertentu dan dengan memanfaatkan berbagai macam bahan tambah. Oleh karena itu, untuk dapat mengatasi kerusakan-kerusakan yang dapat dialami beton, terdapat salah satu inovasi untuk beton yakni *self healing concrete* yang merupakan inovasi agar beton memiliki kemampuan untuk memperbaiki kerusakan jenis retak secara mandiri. Tujuan dari inovasi ini adalah agar beton dapat memperbaiki atau menutup retak secara mandiri dengan cara memanfaatkan bakteri yang ditanamkan ke dalam beton. Sehingga diharapkan bakteri tersebut menutup retak pada beton dan dapat mencegah kerusakan yang lebih besar akibat keretakan yang telah terjadi sekaligus tanpa perlu mengeluarkan biaya tambahan untuk perbaikan dan perawatan beton. Ada beberapa metode yang digunakan untuk memanfaatkan bakteri ke dalam beton, sehingga beton tersebut dapat memiliki kemampuan *self healing concrete*. Salah satu metode nya adalah dengan membuat bakteri tertentu berbentuk seperti kapsul, atau biasa disebut dengan enkapsulasi hidrogel. Metode ini menggunakan bahan tertentu yang dapat membuat bakteri yang telah berbentuk cairan dalam jumlah yang cukup banyak dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan, bahan tersebut merupakan CMC atau *carboxymethyl cellulose*. Media cair dari bakteri adalah hasil dari perbanyakan bakteri yang dapat dilakukan di laboratorium mikrobiologi dengan memanfaatkan bahan lain yaitu, *aquades*, *nutrient cair*, dan bakteri itu sendiri, kemudian bakteri hasil dari perbanyakan tersebut ditambahkan *carboxymethyl cellulose* agar dapat dibentuk menyerupai kapsul. Bakteri yang dibentuk kapsul disyaratkan agar tidak memiliki diameter yang terlalu besar, kisaran kapsul bakteri yang disarankan adalah dari 2 mm hingga 4 mm, agar tidak mengurangi kekuatan beton akibat menimbulkan banyaknya rongga-rongga udara dalam beton yang ditambahkan bakteri terenkapsulasi tersebut.

Penelitian kali ini adalah membuat inovasi benda uji silinder beton dengan memanfaatkan bakteri dari *genus bacillus* dan *species subtilis* dengan menggunakan metode enkapsulasi hidrogel. Kapsul bakteri tersebut terbuat dari *nutrient brooth* sebagai nutrisi atau makanan untuk bakteri, *aquades* untuk memperbanyak media cair bakteri, *carboxymethyl cellulose* sebagai bahan yang digunakan agar cairan bakteri tersebut dapat dibentuk seperti kapsul, setelah bakteri *bacillus subtilis* telah berbentuk kapsul, maka kapsul bakteri tersebut telah siap dimasukkan ke dalam beton sebagai bahan tambah sesuai dengan kadar yang telah ditentukan. Selain memiliki tujuan agar beton tersebut dapat memperbaiki kerusakan secara mandiri atau *self healing concrete*, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan enkapsulasi bakteri sebagai bahan tambah dalam beton terhadap kuat tekan beton sehingga diharapkan mendapatkan nilai perbandingan antara beton biasa tanpa bahan tambah bakteri dengan beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri. Sayangnya inovasi *self healing concrete* dengan metode enkapsulasi bakteri hanya dapat efektif menutupi celah-celah retakan kecil, atau retak rambut yang berikisar 0,2 sampai 0,5 mm.

2. STUDI LITERATUR

Studi literatur merupakan pengumpulan beberapa informasi mengenai penelitian sebelumnya dan juga informasi dari berbagai sumber lainnya yang relevan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Informasi-informasi dan pengetahuan mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat menjadi pedoman dalam pengembangan penelitian baru yang akan dilaksanakan, sehingga diharapkan dapat menemukan faktor-faktor lain yang masih dapat dikembangkan lagi sebagai tahap lanjutan dari penelitian terdahulu. Studi literatur penting dilakukan agar penelitian baru yang akan dilakukan diharapkan tidak bersifat plagiasi dari penelitian sebelumnya.

(Ika, 2016), telah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Bakteri *Bacillus Subtilis* Dengan Metode Hidrogel Enkapsulasi Dalam Proses *Self Healing*”. Bertujuan selain perbaikan mandiri juga untuk mengetahui pengaruh penambahan enkapsulasi bakteri pada beton terhadap kuat lentur, daya serap air atau absorpsi dan permeabilitas. Kadar persentase yang digunakan sebanyak 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%, 1.1% dari berat agregat halus. Hasil yang didapatkan pada pegujian kuat lentur untuk beton normal adalah sebesar 7,48 Mpa dan pada

beton dengan kadar 0,3% adalah 10,24 Mpa. Padapengujian penyerapan air, nilai serap beton normal adalah 1,25% dan beton dengan kadar 0,3% adalah 1,5%. Pada pengujian permeabilitas beton, nilai permeabilitas beton normal adalah $6,75 \times 10^{-8}$ cm/dt dan beton dengan kadar 0,3% adalah $7,43 \times 10^{-9}$ cm/dt. Dari hasil yang didapatkan maka diketahui bahwa beton dengan bahan tambah mikro kapsul bakteri kadar 0,3% merupakan yang paling baik kualitasnya bila dibandingkan dengan beton normal dan beton dengan bahan tambah bakteri kadar persentase 0.5%, 0.7%, 0.9%, 1.1%.

(Rochani, 2016), telah melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri Bacillus Subtilis Sebagai Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton”. Pengujian yang dilakukan ini menggunakan dua bahan tambah yakni, batu apung dan juga bakteri bacillus subtilis yang terenkapsulasi. Batu apung digunakan sebagai pozzolan karena mengandung silica yang cukup tinggi, diharapkan mampu menambah daya kuat tekan dan kuat lentur dari beton. Bakteri bacillus subtilis digunakan sebagai agen self healing concrete untuk menutupi retak-retak mikro yang tidak dapat dihindari. Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh Ida Rochani adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh bahan tambah pozzolan batu apung (pumice) dan enkapsulasi bakteri terhadap kemampuan untuk menutupi keretakan pada beton. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah pozzolan yang digunakan yakni batu apung yang mengandung silika apabila bercampur dengan bakteri bacillus subtilis yang terenkapsulasi membuatnya menjadi kurang berperan sebagai agen self healing concrete untuk menutupi keretakan. Didapat proses perbaikan mandiri masih dapat bertahan namun tidak begitu signifikan dengan tingkat perbaikan mencapai 5,6%.

(Afifah, 2017), telah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Kuat Lentur Balok Self Healing Concrete Dengan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Umur Perawatan”. Penelitian ini mengkaji tentang perbaikan retakan balok beton dengan menggunakan bakteri bacillus subtilis dan untuk mendapatkan pengaruhnya pada balok beton dengan variasi umur perawatan 7, 14, 21, dan 28 hari, Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan beban statik. Bakteri murni digunakan sebagai agen self healing concrete sehingga tidak termasuk sebagai bahan tambah dari adonan beton, beton yang digunakan beton murni tanpa adanya bahan tambah lain yang dimasukkan ke dalam adonan beton, bakteri digunakan setelah beton diuji dan mengalami retak rambut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara injeksi, jadi terlebih dahulu bakteri bacillus subtilis dikembangkan bentuk cairan yang banyak sehingga cukup untuk dimasukkan atau diinjeksikan ke dalam celah-celah retakan beton setelah diuji tekan dan di uji lentur. Khusus untuk pengujian kuat lentur dilakukan sebanyak dua kali, yang pertama hanya sampai retak rambut, kemudian untuk pengujian kuat lentur kedua retakan tersebut diinjeksi dengan cairan bakteri sebelum dilaksanakn uji kuat lentur sesuai dengan waktu pengamatan yang telah ditentukan. Hasil yang didapat yakni nilai kuat lentur tahap pertama pada balok sebesar 11,89 Mpa, kemudian balok tersebut diinjeksikan dengan cairan bakteri bacillus subtilis untuk pengamatan selama 7 hari sebesar 12, 51 Mpa, 14 hari sebesar 8,73 Mpa, 21 hari sebesar 10,87 Mpa, dan untuk umur 28 hari diperoleh 12,51 Mpa. Dari hasil tersebut diketahui nilai kuat lentur pada balok beton setelah diinjeksi cairan bakteri pada umur pengamatan selama 28 hari mengalami kenaikan sebesar 5,2% dari balok normal. Sedangkan untuk beton yang diinjeksi dengan cairan bakteri pada umur pengamatan selama 7, 14, dan 21 hari mengalami penurunan nilai kuat lentur.

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada suatu penelitian merupakan hal penting yang harus diperhatikan. sehingga dalam pelaksanaannya harus diawasi oleh yang sudah ahli dalam bidangnya, agar pelaksanaan penelitian dapat terlaksana dengan baik dan mampu mengatasi dan mengambil keputusan yang tepat terkait permasalahan yang dapat ditemui. Berikut merupakan meotodologi yang dilakukan selama dilaksanakannya penelitian.

1. Batasan penelitian

Pada penelitian tugas akhir kali ini, menggunakan metodologi yang digunakan untuk memfokuskan dalam kegiatan penelitian, yang diantaranya sebagai berikut:

- a. *Mix design* menggunakan metode SNI (Standar Nasional Indonesia).
- b. Kuat tekan beton rencana $f'c$ 25 Mpa, dengan umur benda uji silinder beton adalah 28 hari.
- c. Bahan material yang digunakan berupa air, semen portland tipe I, dan juga agregat halus serta agregat kasar yang diperoleh dari daerah Merapi.
- d. Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter (D) 15 cm dan tinggi (H) 30 cm.
- e. Sampel benda uji silinder yang dibuat sebanyak 15 buah.
- f. Pembuatan benda uji berlokasi di laboratorium Litbang Sabo.
- g. Waktu perendaman (curing) benda uji untuk kuat tekan selama 28 hari.
- h. Pengujian benda uji berlokasi di Laboratorium Litbang Sabo.
- h. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *Bacillus subtilis*.
- i. Variasi kadar persentase bakteri yang digunakan sebagai bahan tambah beton sebanyak
- j. 0%; 0,5%; dan 1% dari berat agregat halus per sampel benda uji silinder beton.
- k. Pengembangbiakkan dan pembuatan enkapsulasi bakteri *Bacillus subtilis* di laboratorium Agrobioteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- l. Waktu perendaman benda uji untuk proses self healing concrete selama 14 hari, dalam air dengan nilai pH yang berbeda-beda yakni pH 2, pH 5, dan pH 7.
- m. Mengamati bakteri *Bacillus subtilis* dalam menutupi keretakan pada beton dengan cara pengamatan secara visual.

2. Mix design

Beton yang merupakan bahan utama dalam konstruksi dalam proses pengerjaannya memiliki suatu aturan atau pedoman yang harus diperhatikan sehingga beton dapat mencapai dengan yang telah direncanakan. *Mix design* merupakan pedoman dan aturan yang berisikan tata cara pembuatan dan proporsi untuk pembuatan beton, dengan adanya *mix design* sehingga peneliti dapat mencapai yang direncanakan. Metode *mix design* yang digunakan kali ini adalah SNI 03-2834-2000.

3. Kuat tekan beton

Beton umum digunakan dalam pembangunan konstruksi dikarenakan memiliki kuat tekan yang sangat menjanjikan. Kuat tekan beton adalah kekuatan maksimal yang dapat ditahan beton dalam memikul beban sampai terjadinya keretakan yang menandakan titik maksimal yang nilai kuat tekan beton yang dapat ditanggung. Oleh karena itu, dalam penelitian mengenai topik beton mengenai inovasi-inovasi yang dikembangkan diharapkan tetap tidak menurunkan secara drastis tingkat kuat tekan beton itu sendiri sehingga inovasi yang dilakukan dapat diaplikasikan secara konvensional.

Nilai kuat tekan beton diuji menggunakan alat uji kuat tekan yakni *compressive strength* dimana bagian atas dari alat tersebut akan menekan benda uji beton hingga menimbulkan keretakan, sesuai dengan penampang yang digunakan seperti, silinder (15 cm x 30 cm), kubus (15 cm x 15 cm x 15 cm), dan balok (15 cm x 15 cm x 60 cm) kemudian akan muncul hasil dari nilai kuat tekan.

4. *Self healing concrete*

Self healing concrete atau perbaikan mandiri beton merupakan sebuah inovasi untuk beton yang pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Henk Joankers 2006 seorang ahli *microbiologist* Delft University, Netherland yang dikerjakan selama kurang lebih 3 tahun. Inovasi beton ini memanfaatkan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai agen perbaikan mandiri, bakteri ini dipilih karena terbukti dapat mengeluarkan endospora berupa $CaCO_3$ kalsium karbonat dimana kemampuan ini hanya dimiliki oleh beberapa bakteri salah satunya dari genus *Bacillus*. Metode yang digunakan

adalah enkapsulasi bakteri, jadi terlebih dahulu bakteri *Bacillus subtilis* mengalami proses pembentukan berupa kapsul, sehingga bakteri dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam beton. Bakteri merupakan makhluk berukuran sangat kecil tak dapat dilihat secara kasat mata, maka dari itu penambahan dengan bahan-bahan tertentu sehingga bakteri dapat lebih efisien digunakan sekaligus membentuk dan melindungi bakteri.

Cara kerja bakteri sebagai agen *self healing concrete* pada beton dapat terjadi apabila beton mengalami kerusakan berupa *crack* atau retak, kemudian retak tersebut mencapai atau mengenai enkapsulasi bakteri *Bacillus subtilis*. Secara perlahan enkapsulasi bakteri tersebut akan mengisi bagian retak dengan cara menumbuhkan endospore yang dirangsang atau dibantu juga pertumbuhannya oleh oksigen O₂ dan air H₂O. Hanya saja kemampuan perbaikan mandiri beton dengan memanfaatkan enkapsulasi bakteri ini hanya dapat menutupi keretakan yang dialami oleh beton kisaran 3-5 mm saja.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian material beton.

Beton merupakan bahan komposit yang terdiri dari material-material seperti, air, semen, pasir, kerikil, dan bahan tambah (*additive*) bila diperlukan. Namun sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton, terlebih dahulu material tersebut harus melalui beberapa pengujian agar mengetahui bahwa material tersebut telah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh metode yang digunakan sebagai pedoman.

Tabel 1 Hasil pengujian material

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar lumpur pasir	2,5	%
2	Kadar lumpur kerikil	1	%
3	Berat jenis pasir	2.4	
4	Berat jenis kerikil	2.67	
5	Berat satuan pasir	1.73	gr/cm ³
6	Berat satuan kerikil	1.35	gr/cm ³
7	Analisis saringan pasir	3.5	
8	Analisis saringan kerikil	6.2	
9	Keausan kerikil	50.38	%

Sumber : hasil analisis

2. Identifikasi bakteri *Bacillus subtilis*.

Pengujian bakteri memiliki tujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dari bakteri yang akan digunakan telah sesuai dengan . Pengujian bakteri *Bacillus subtilis* meliputi uji identifikasi karakteristik koloni, identifikasi morfologi, dan identifikasi katalase.

Tabel 2 Hasil identifikasi bakteri

Koloni	Morfologi	Elevasi
Warna putih	Gram positif	<i>Aerob</i>
Koloni <i>myceloid</i>	Berspora	Positif
Bentuk tepi <i>erose</i>	Bentuk sel <i>bacil</i>	
Elevasi <i>low convex</i>		
Struktur dalam <i>opaque</i>		
Tidak berlendir		

Sumber : hasil analisis

3. *Mix design*

Metode *mix design* yang dipakai untuk penelitian kali ini adalah metode SNI (Standar Negara Indonesia) tepatnya SNI 03-2834-2000. Berikut merupakan hasil atau kebutuhan yang diperlukan dengan memanfaatkan bahan tambah enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis*. Formulir perhitungan *mix design* atau campuran beton merupakan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya guna mempermudah dalam proses pembuatan benda uji beton. Berisikan tentang data-data yang harus dipenuhi dan diharapkan hasil dari beton dapat sesuai dengan mutu rencana, yang dapat di lihat Sebagai berikut.

Tabel 3 *Mix Design*

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kuat tekan umur 28 hari	25	Mpa
2	Deviasi standar	7	Mpa
3	Nilai tambah	11.48	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata	36.48	Mpa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	FAS	0.45	
7	Kebutuhan air	204.9	lt/m ³
8	Kebutuhan semen	455.333	kg/m ³
9	Kebutuhan pasir	665.506	kg/m ³
10	Kebutuhan kerikil	998.26	kg/m ³

Sumber : hasil analisis

Tabel 4 Kebutuhan bahan untuk beton bakteri 0.5%

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Benda uji	3	Buah
2	Volume benda uji	0.017	m ³
3	Kebutuhan air	3.65	lt
4	Kebutuhan semen	8.11	kg
5	Kebutuhan pasir	11.85	kg
6	Kebutuhan kerikil	17.78	kg
7	Enkapsulasi bakteri 0.5%	59	gr

Sumber : hasil analisis

Tabel 5 Kebutuhan bahan untuk beton bakteri 1%

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Benda uji	3	Buah
2	Volume benda uji	0.017	m ³
3	Kebutuhan air	3.65	lt
4	Kebutuhan semen	8.11	kg
5	Kebutuhan pasir	11.85	kg
6	Kebutuhan kerikil	17.78	kg
7	Enkapsulasi bakteri 1%	118	gr

Sumber : hasil analisis

4. Nilai *slump* beton.

Pengujian *slump* beton dilakukan setelah proses pengadukan material beton dengan menggunakan mesin *mixer* telah selesai. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *slump* atau nilai kelecakan (*workability*) dari beton hasil campuran beton yang telah digunakan. Enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebagai bahan tambah dalam beton tidak dimasukkan pada saat proses pengadukan beton, namun ditambahkan dalam cetakan silinder pada saat akan dimasukkan beton segar.

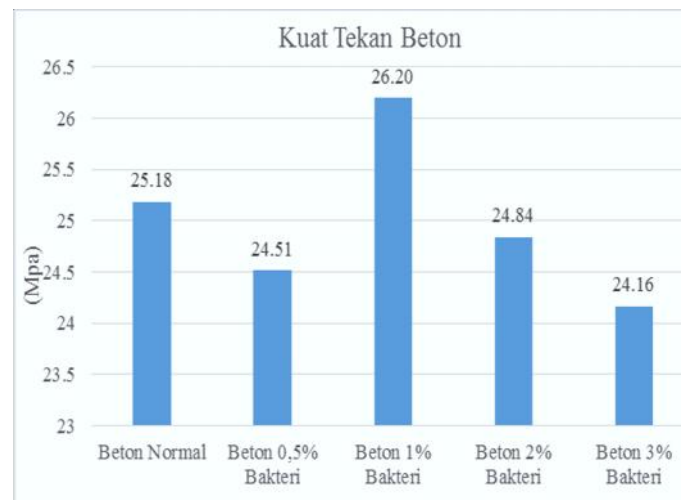
Tabel 6 Hasil nilai *slump*

Kode	FAS	Hasil
A	0.45	10.7
B	0.45	10.5
C	0.45	10
D	0.45	10
E	0.45	9.8

Sumber : hasil analisis

5. Kuat tekan beton

Uji kuat tekan beton dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari. Silinder beton tersebut dibagi sesuai dengan kategori, tiga sampel silinder beton normal, dan tiga sampel untuk masing-masing beton dengan bahan tambah enkapsulasi *bacillus subtilis* sebanyak 0,5%; 1%; 2%; dan 3%.



Gambar 1 Grafik kuat tekan

Berdasarkan dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang berbeda-beda tiap sampelnya. Beton normal tanpa bahan tambah memiliki nilai kuat tekan rata-rata dari tiga sampel silinder beton adalah 25,18 Mpa. Sedangkan untuk nilai kuat tekan rata-rata dari masing-masing sampel beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri, mengalami penurunan pada kadar 0,5%, 2%, dan 3%, dan mengalami kenaikan pada kadar bakteri sebesar 1%.

6. Pengujian *self healing concrete*.

Pengujian *self healing* pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara perendaman beton tersebut ke dalam air dengan nilai pH yang berbeda-beda. Nilai pH yang digunakan untuk proses pengujian *self healing concrete* adalah pH asam dan netral, sehingga dapat diketahui pada pH perendaman air dan kadar enkapsulasi bakteri berapa yang paling baik menutup retak pada beton. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2 B-1 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 0,5% pada perendaman PH 2 selama 14 hari.



Gambar 3 B-2 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 0,5% pada perendaman PH 5 selama 14 hari.



Gambar 4 B-3 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 0,5% pada perendaman PH 7 selama 14 hari.



Gambar 5 C-1 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 1% pada perendaman PH 2 selama 14 hari.



Gambar 6 C-2 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 1% pada perendaman PH 5 selama 14 hari.



Gambar 7 C-3 Beton bakteri *bacillus subtilis* sebesar 1% pada perendaman PH 7 selama 14 hari.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan menunjukkan sejauh mana tujuan telah tercapai, rangkum temuan-temuan utama, hasil atau informasi dalam laporan Anda. Kesimpulan juga memuat keterbatasan dan membuat rekomendasi untuk pekerjaan di masa mendatang (jika ada). Terakhir, tuliskan kontribusi penelitian anda ini.

Dari data-data penelitian yang telah diperoleh dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari kuat tekan beton normal yakni sebesar 25,18 Mpa, dan dari hasil tersebut telah memenuhi yang direncanakan yaitu 25 Mpa. Sedangkan untuk beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebesar 0,5% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 2,72% menjadi 24,51 Mpa. Nilai kuat tekan mengalami kenaikan pada beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebesar 4,04% menjadi 26,20Mpa. Sehingga dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambah enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebesar 1% memiliki kuat tekan beton yang tertinggi.
2. Penggunaan enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebanyak 0,5% dan 1% sebagai bahan tambah beton memberikan pengaruh yaitu pada kuat tekan dan sebagai agen *self healing* pada retakan beton, di mana kuat tekan beton dengan kapsul bakteri 0,5% lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, sedangkan beton dengan kapsul bakteri 1% memiliki kuat tekan yang lebih baik daripada beton normal. Enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* juga berhasil melakukan proses *self healing* dengan cara mengisi celah-celah retakan beton dengan membentuk endospora dan mengeras.
3. Pada pengujian *self healing concrete* menunjukkan bahwa beton B-3 yang terkandung enkapsulasi bakteri *bacillus subtilis* sebesar 0,5% dalam perendaman air dengan pH 7 atau netral selama 14 hari, dinilai yang paling baik dalam menutupi retak pada beton. Sedangkan pada beton bakteri sebesar 0,5% dalam perendaman air dengan pH 2 atas asam dinilai yang paling kurang menutupi retak-retak pada beton.

REFERENSI

- Ika, Dianita. (2016). Pengaruh Penambahan Bakteri *Bacillus Subtilis* dengan Metode Hidrogel Enkapsulasi dalam Proses *Self Healing*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Rochani, Ida. (2016). Pemanfaatan Batu Apung (*Pumice*) Lombok dan Bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Afifah, Siti. (2017). Pengaruh Kuat Lentur Balok *Self Healing Concrete* dengan Bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap Umur Perawatan. Yogyakarta, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- As'at, Fauzan Gumelar. (2018). Laporan Tugas Besar Teknologi Bahan. Yogyakarta. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1996). SNI 03-4142-1996. Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1998). SNI 03-4804-1998 Cara Uji Bobot Isi dan Rongga Udara. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). SNI 03-2834:2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Adukan Beton Normal. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 2417:2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011). SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Agregat. Jakarta:BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011). SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2012). SNI ASTM C 136:2012 Cara Uji Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 1970:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 1970:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Jakarta:BSN.