

**PENGARUH VARIASI VOLUME KONSENTRASI BAKTERI *BACILLUS  
SUBTILIS* TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON**

**Yuridho Alfi<sup>1)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2)</sup>, Iskandar Romey Sitompul<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : [yuridho.alfi@student.unri.ac.id](mailto:yuridho.alfi@student.unri.ac.id)

**ABSTRACT**

*Concrete is the most favourite material used in construction. Concrete has some advantages, but in some cases, concrete also has drawbacks. One of the drawbacks founds during the use of concrete is that its tensile strength is low when the tensile strength of concrete is exceeded the cracks will exist. The innovation to solve this is the introduction of self healing concrete that utilize bacteria bacillus subtilis in a concrete mix. This bacteria can repair cracks in concrete. In this research, bacteria bacillus subtilis were used with different concentration that is  $10^5$  cells/20 ml,  $10^5$  cells/25 ml and  $10^5$  cells/30 ml. Mechanical properties test carried in this research, namely compressive strength and flexural strength. The test consist of two loading types namely broken cracks where the concrete was loaded until it fully destroyed and loading up until initial cracks occurred. The test was carried after 28 and 56 days of curing. The result shown that the concrete with  $10^5$  cells/20 ml concentration of bacillus subtilis had the highest compressive strength with increasement by 28,70 % and 34,50 % than normal concrete at 28 and 56 days. The highest flexural strength value has shown in concrete with  $10^5$  cells/20 ml.*

*Keyword : Concrete, Cracks, Bacillus Subtilis, Mechanical Properties, Compressive Strength, Flexural Strength*

**A. PENDAHULUAN**

Perkembangan pembangunan di Indonesia saat ini semakin pesat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan akan konstruksi semakin meningkat untuk menunjang kebutuhan dalam kehidupan. Bersamaan dengan hal tersebut memberikan efek akan kebutuhan rumah atau bangunan-bangunan yang semakin meningkat. Beton memiliki banyak kelebihan sebagai bahan yang sering digunakan dalam konstruksi. Beberapa kelebihan beton adalah material penyusun beton yang mudah didapat, mudah dalam pengerjaan, mudah dibentuk menggunakan bekisting, biaya pemeliharaan rendah, tahan terhadap kebakaran dan sebagainya.

Sebagai bahan bangunan, beton juga memiliki kelemahan salah satunya ialah kuat tarik beton yang lemah sehingga beton mudah mengalami keretakan. Keretakan inilah yang sangat berbahaya dalam konstruksi menggunakan beton. Keretakan juga bisa terjadi karena disebabkan oleh faktor alamiah, contohnya bencana alam. Wilayah Indonesia merupakan salah satu negara yang dikelilingi cincin api. Hal ini menyebabkan Indonesia sering terjadi gempa akibat pergerakan lempeng sehingga dampak negatif yang bisa terjadi salah satunya adalah timbulnya retak pada elemen struktur. Keretakan yang terjadi pada struktur bangunan harus segera diatasi. Untuk mengatasi retakan pada konstruksi bangunan seperti balok, plat, dan

kolom, maka diperlukan adanya sebuah inovasi perbaikan terhadap kerusakan yang terjadi. Seiring berjalannya waktu, penelitian mengenai inovasi Self Healing Concrete selalu berkembang dan merupakan perkembangan inovasi yang dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya (Jonkers, 2011).

Salah satu inovasi pada beton adalah beton pulih mandiri atau disebut *self healing concrete* (SHC). Bakteri bacillus subtilis dijadikan sebagai media yang dapat memulihkan keretakan pada beton. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Kumar et al (2015) yang menggunakan 30 ml bakteri bacillus subtilis. Beton yang mengalami keretakan dapat disembuhkan dan menutup dalam 28 hari. Bakteri dimasukkan kedalam campuran ketika pengadukan beton sehingga ketika terjadi keretakan, bakteri mulai bekerja dan menghasilkan kapur sehingga dapat mengisi keretakan.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

### **B.1 Beton**

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat penting dan paling banyak digunakan pada struktur bangunan. Beton sangat diminati karena bahan ini merupakan bahan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan antara lain, mudah dikerjakan dengan cara mencampur semen, agregat, air, dan bahan tambahan lain bila diperlukan dengan perbandingan tertentu. Kelebihan lainnya adalah ekonomis (dalam pembuatannya menggunakan bahan dasar lokal yang mudah diperoleh), dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki dengan menggunakan bekisting, mampu menerima kuat tekan dengan baik, tahan aus, rapat air, awet dan mudah perawatannya, tahan terhadap api.

### **B.2 Bahan Penyusun Beton**

#### **B.2.1 Semen Portland**

Semen Portland merupakan jenis semen yang paling umum digunakan dalam campuran beton. Semen ini

dikembangkan secara hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya.

#### **B.2.2 Agregat**

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati sebanyak 70 – 75 % volume beton. Pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,75 mm disebut agregat halus, sedangkan agregat yang butirannya lebih besar dari 4,75 mm disebut agregat kasar (ASTM C 33, 1994). Agregat kasar dapat mempengaruhi kekuatan dan sifat struktur beton. Oleh karena itu, agregat kasar harus dipilih yang cukup keras, tidak mudah pecah, bersifat kekal. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Ukurannya berkisar dari No. 4 dan No. 100 (4,75 mm sampai 150  $\mu$ m) ukuran saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus kecil mengandung bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton (Nawy, 1998).

#### **B.2.3 Air**

Air merupakan bahan dasar pembuat dan perawatan beton. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen yang nantinya membentuk pasta yang berguna sebagai perekat antar butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Kekuatan beton dan daya tahannya akan berkurang jika air banyak

mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya, lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras.

Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi kira-kira 25% dari berat semen. Penggunaan air yang terlalu banyak dapat menyebabkan bleeding dan berkurangnya kekuatan pada beton. Sebaliknya penggunaan air yang terlalu sedikit menyebabkan workability nya rendah. Selain digunakan dalam campuran beton, air juga dibutuhkan dalam proses curing Menurut (SNI 15-7064-2004)

### **B.3 Sifat Mekanik Beton**

#### **B.3.1 Kuat Tekan Beton**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah mesin uji tekan (*Compression Test Machine*).

#### **B.3.2 Kuat Lentur Beton**

Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji balok mengalami patah. Tata cara mengenai uji lentur beton dengan dua titik pembebanan.

### **B.4 Beton Pulih Mandiri**

Beton pulih mandiri atau yang biasa disebut *self healing concrete* adalah beton dengan kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri akibat kerusakan yang disebabkan oleh keretakan. Dalam campuran beton ditambahkan bahan tambah bakteri untuk dapat menangani masalah keretakan. Teknik ini bereksperimen dengan baik dan disebut dengan *bioconcrete* (Lala, et al., 2013). Preferensi terletak pada bakteri yang bekerja sebagai katalisator, memungkinkan berbagai peristiwa penyembuhan. Untuk membuat material kompetitif secara teknis dan ekonomis, bahan penyembuhan harus murah dalam

kaitannya dengan harga beton yang rendah, tetap berpotensi aktif untuk jangka waktu yang lama dan kompatibel dengan beton agar tidak mempengaruhi karakteristik material secara negatif (Jonkers H. , 2007).

### **B.5 Bakteri *Bacillus Subtilis***

Bakteri adalah kelompok organisme yang tidak memiliki membran inti sel. Organisme ini termasuk ke dalam domain prokariota dan berukuran sangat kecil (mikroskopik), serta memiliki peran besar dalam kehidupan di bumi. Beberapa kelompok bakteri dikenal sebagai agen penyebab infeksi dan penyakit, sedangkan kelompok lainnya dapat memberikan manfaat dibidang pangan, pengobatan, dan industri. Bakteri adalah suatu organisme yang mampu melakukan penyebaran terluas di alam.

Salah satu dari berbagai macam bakteri adalah *bacillus subtilis*, bakteri ini bisa digunakan sebagai media penyembuhan keretakan pada beton. *Bacillus subtilis* merupakan bakteri yang termasuk dalam jenis *bacillus*. Bakteri ini merupakan kuman yang berbentuk batang, gram positif, dan memiliki spora fakultatif yang sering ditemukan di tanah, air dan termasuk air laut (A Backman, 1994)

*Bacillus subtilis* selnya berbentuk basil, ada yang tebal dan yang tipis. Biasanya bentuk rantai atau terpisah. Sebagian motil dan adapula yang non motil. Semua membentuk endospora yang berbentuk bulat dan oval. *Bacillus subtilis* merupakan jenis kelompok bakteri termofilik yang dapat tumbuh pada kisaran suhu 45 °C – 55 °C dan mempunyai pertumbuhan suhu optimum pada suhu 60 °C – 80 °. Sehingga bakteri ini dapat tetap hidup didalam beton

## **C. Metodologi Penelitian**

### **C.1 Pengujian Karakteristik Agregat**

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah gunung yang berasal dari Pangkalan, Sumatera Barat. Terdapat 5 pengujian untuk

mengetahui karakteristik dari agregat kasar, yaitu terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat volume, analisa saringan, dan pengujian abrasi menggunakan mesin los angeles.

Agregat halus yang digunakan diperoleh dari Danau Binkuang Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Pengujian karakteristik agregat halus penelitian ini terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat volume, analisa saringan, pemeriksaan kadar lumpur dan pemeriksaan kadar organik

### C.2 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan pada berupa silinder, dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji pengujian kuat lentur berupa balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm.

Total sampel benda uji adalah 24 sampel beton untuk uji tekan dan 36 sampel beton untuk uji lentur. Untuk pengujian kuat tekan dan kuat lentur menggunakan umur rencana 28 dan 56 hari yang membutuhkan masing masing 3 sampel. Beton normal yang diuji dibandingkan dengan beton yang telah dicampurkan bakteri *Bacillus subtilis* dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml,  $10^5$  cells/25 ml,  $10^5$  cells/30 ml. Rencana benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pengujian	Normal Concrete		Bacterial Concrete					
			Konsentrasi $10^5$ cells/20 ml		Konsentrasi $10^5$ cells/25 ml		Konsentrasi $10^5$ cells/30 ml	
	Waktu Perawatan							
28		56		28		56		
Kuat Tekan	3	3	3	3	3	3	3	3
	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji
Kuat Lentur	3	6	3	6	3	6	3	6
	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji	Benda Uji

### C.3 Perencanaan Mix Design

Beton adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Komposisi campuran yang tepat pada beton didapatkan dari nilai pengujian karakteristik material. Komposisi campuran beton untuk  $1 \text{ m}^3$  dengan mutu yang direncanakan  $f_c'20$  MPa dapat dilihat pada Tabel 2. Perencanaan campuran penelitian ini mengacu pada standar (SNI 03-2834-1993).

Tabel 2. Perencanaan Mix Design

Jenis Beton	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	<i>Bacillus Subtilis</i> /
					pengenceran (ml)
Beton Normal	1123,88	603,32	425,51	179,06	-
Beton Bakteri	1123,88	603,32	425,51	179,06	250

### C.4 Pengenceran Isolat bakteri *Bacillus Subtilis*

Isolat *Bacillus subtilis* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi Pertanian, Universitas Gajah Mada. Bakteri awalnya berbentuk isolat, kemudian dilakukan pengenceran untuk mencari konsentrasi  $10^5$  cells di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau. Bakteri yang digunakan dalam campuran beton merupakan bakteri yang sudah dilakukan pengenceran dengan konsentrasi  $10^5$  cells/ 20 ml,  $10^5$  cells/ 25 ml,  $10^5$  cells/ 30 ml.

### C.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji berdasarkan komposisi dan rencana benda uji yang telah direncanakan. Pelaksanaan pembuatan benda uji dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Riau.

### C.6 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji berfungsi agar proses hidrasi beton menjadi sempurna.

Setelah benda uji mengeras selama  $\pm 24$  jam, cetakan beton dibuka. Kemudian dilakukan perawatan pada beton. Beton dirawat untuk mencegah pengeringan pada bidang-bidang beton dengan cara direndam di bak selama 28 hari dan 56 hari karena proses hidrasi yaitu reaksi mineral semen dengan air bisa berlangsung baik agar mendapatkan daya tahan beton sesuai dengan yang direncanakan. Kurangnya kelembapan pada beton akan mempengaruhi kuat tekan pada beton yang akan membuat mineral semen akan bereaksi dengan baik dan apabila beton terjemur dengan matahari maka akan menghilangkan kadar air didalam beton.

## C.7 Pelaksanaan Pengujian Beton

### C.7.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1974-1990 yang bertujuan untuk menentukan kemampuan beton dalam menerima gaya per satuan luas. Prosedur pengujian kuat tekan beton adalah:

1. Mengambil benda uji yang akan ditentukan kekuatannya dari bak perendam/pematangan (*curing*), kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab dan dikeringkan selama  $\pm 24$  jam.
2. Melapis (*capping*) permukaan atas benda uji dengan mortar belerang dengan cara sebagai berikut :lelehkan mortar belerang didalam pot peleleh (*melting pot*) yang dinding dalamnya telah di lapisi tipis dengan oli.
3. Menimbang berat benda uji.
4. Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris
5. Melakukan pembebanan pada benda uji. Untuk benda uji diberi beban maksimal hingga benda uji mengalami retak hancur. Kemudian mencatat beban maksimal pada beton.
6. Menghitung hasil kuat tekan yang didapatkan.

### C.7.2 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur mengacu pada standar SNI 4431:2011. Pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan dua titik pembebanan. Pengujian ini berguna untuk mendapatkan nilai tegangan lentur yang timbul selama beton diberi beban.

Tahap pertama pengujian kuat lentur adalah mencatat ukuran dan berat benda uji. Kedua membuat garis – garis melintang sebagai tanda titik – titik perletakan dan pembebanan. Selanjutnya memasang perletakan pada mesin kuat lentur. Setelah perletakan terpasang, meletakkan benda uji pada tumpuan dan mengatur posisi sehingga siap untuk pengujian. Pada tahap akhir, mengunci katup – katup pembebanan dan melakukan pembebanan pada benda uji balok secara hidrolik.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik material campuran beton yang dilakukan adalah pada agregat kasar dan agregat halus. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.. Hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 3. dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	0,91	2-5
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Spesific Gravity on SSD</i>	2,56	2,58 – 2,83
	a. <i>Absorption (%)</i>	1,11	< 2
3	Berat Volume ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )		
	a. Kondisi Gembur	1,3	1,4 – 1,9
	b. Kondisi Padat	1,5	1,4 – 1,9
4	Modulus Kehalusan	6,9	5 – 8
5	Ketahanan Aus (%)	32,44	< 40

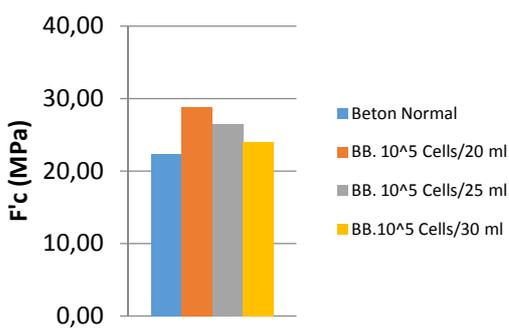
Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	6,16	2 – 5
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,63	2,58 – 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	0,60	< 2
3	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	a. Kondisi Gembur	1,5	1,4 – 1,9
	b. Kondisi Padat	1,6	1,4 – 1,9
4	Modulus Kehalusan	2,54	1,5 – 3,8
5	Kandungan Organik	No. 2	< No.3
6	Kadar Lumpur (%)	1,92	< 5

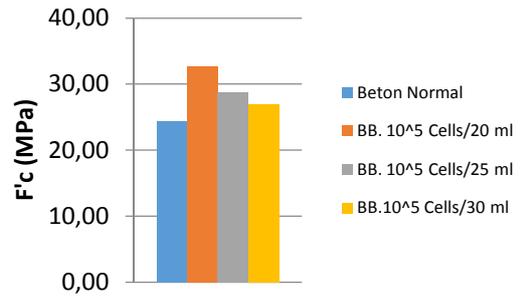
## D.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian didapat bahwa beton yang ditambahkan bakteri *bacillus subtilis* dengan konsentrasi  $10^5$  cells / 20ml memiliki kuat tekan tertinggi dengan nilai kuat tekan 22,07 MPa untuk perawatan 28 hari dan 28,76 MPa perawatan 56 hari . Kuat tekan beton bakteri konsentrasi  $10^5$  cells/ 20 ml meningkat 28,70% pada umur perawatan 28 hari dan 34,50% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal.

Perbandingan nilai kuat tekan beton normal dengan beton bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Nilai Kuat Tekan 28 Hari

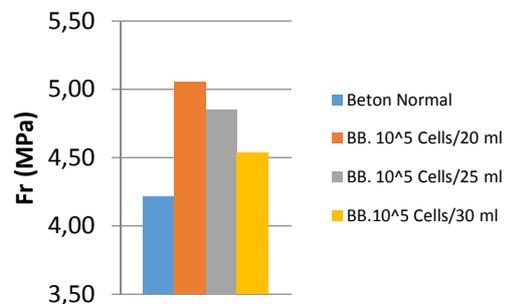


Gambar 3. Nilai Kuat Tekan 56 Hari

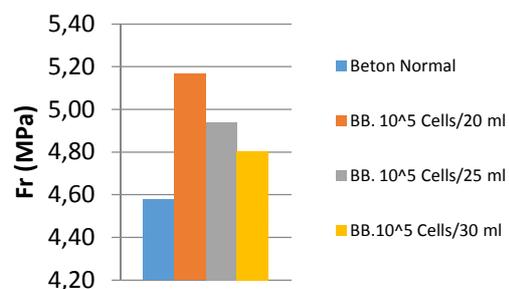
## D.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur didapat bahwa beton yang ditambahkan bakteri *bacillus subtilis* dengan konsentrasi  $10^5$  cells / 20ml memiliki kuat lentur tertinggi dengan nilai kuat lentur 5,05 MPa untuk perawatan 28 hari dan 5,17 MPa perawatan 56 hari . Kuat lentur beton bakteri konsentrasi  $10^5$  cells/ 20 ml meningkat 19,90% pada umur perawatan 28 hari dan 12,87% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal.

Perbandingan nilai kuat lentur beton normal dengan beton bakteri pada umur perawatan 28 dan 56 hari dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Nilai Kuat Lentur 28 Hari



Gambar 5. Nilai Kuat Lentur 56 Hari

#### D.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Beban Retak Awal

Pegujian uji lentur ini dilakukan setelah benda uji di *curing* selama 28 hari (Tahap I) dengan pembebanan retak awal sebesar 22 kN untuk beton normal, 25 kN untuk beton bakteri  $10^5$  cells/ 20ml, 24 kN untuk beton bakteri  $10^5$  cells/ 25ml, 23 kN untuk beton bakteri  $10^5$  cells/ 30ml. Beban yang diberikan merupakan tegangan awal beton saat mengalami keretakan. Beban didapat dari nilai modulus kehancuran beton (*modulus of rupture*). Ketika dilakukan pembebanan retak awal dan sudah mencapai nilai yang diinginkan maka beban dikembalikan ke posisi awal atau 0 kN. Lalu benda uji dirawat lagi 28 hari sebelum dilakukan uji lentur hingga benda uji patah.

Didapat bahwa beton yang ditambahkan bakteri *bacillus subtilis* dengan konsentrasi  $10^5$  cells / 20ml memiliki kuat lentur tertinggi dengan nilai 5,10 MPa perawatan 56 hari setelah uji retak di 28 hari. Kuat lentur beton bakteri konsentrasi  $10^5$  cells/ 20 ml meningkat 19,68% terhadap beton normal.

### E. KESIMPULAN DAN SARAN

#### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian beton menggunakan bahan tambah bakteri *Bacillus Subtilis* dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml,  $10^5$  cells/25 ml dan  $10^5$  cells/30 ml dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Beton campuran bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/ 20ml memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur paling optimal dari variasi lainnya.
2. Bakteri yang berbentuk mikroskopis mampu mengisi poros yang ada didalam beton, sehingga kuat tekan dan kuat lentur beton dengan campuran bakteri mengalami kenaikan terhadap beton normal.

#### E.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat dikemukakan saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Menambah umur perawatan beton sehingga mampu melihat dan membandingkan keefektifan bakteri dalam menutup keretakan.
2. Menambahkan campuran bakteri pada beton dengan metode lain.
3. Menambah perlengkapan alat pengujian agar dapat menunjang efektifitas penelitian.

#### Daftar Pustaka

- A Backman, P. R. (1994). Detection of bacterial DNA in cerebrospinal fluid by an assay for simultaneous detection. *Journal of clinical microbiology*.
- Agarwal, G., & Kadam, R. (2017). Bacterial Concrete - A Solution To Crack Formation. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 4(10), 1-6.
- ASTM C 127-01. (t.thn.). *Standart Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*.
- ASTM C 33. (1994). *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C 566-9. (t.thn.). *Standar Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Agregate by Drying*.
- Fardiaz. (1992). *Mikrobiologi Pangan 1*. PT. Gramedia.
- Ferguson, P. M. (1986). *Dasar-Dasar Beton Bertulang Terjemahan Reinforced Concrete Fundamentals*. Jakarta: Erlangga.
- Jonkers, H. (2007). *Bacteria Based Self Healing Concrete Introduction. Semanthis Schoolar*.
- Jonkers, H. M. (2011). *Bacteria Based Self Healing Concrete*.