

## PENGARUH VARIASI VOLUME KONSENTRASI BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP SIFAT FISIK BETON

Fajar Priandoko<sup>1)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2)</sup>, Enno Yuniarto<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 : [fajar.priandoko@student.unri.ac.id](mailto:fajar.priandoko@student.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*In general, construction in Indonesia still uses concrete as a building material. It is proven by more than 60% of projects in Indonesia were using concrete as its construction material. Starts from the simplest constructions to the complex technology projects, concrete becomes an inevitable need. Concrete has several advantages and disadvantages. The problem that often occurs in concrete is it can crack either due to physical changes from the concrete itself or external influences. One way to solve this problem is to use the Bacillus Subtilis bacterium as a concrete mixture. This bacterium is capable of repairing cracks in concrete. That is why this research will use Bacillus Subtilis bacteria with different variations in volume concentration, it will be  $10^5$  cells / 20 ml,  $10^5$  cells / 25 ml and  $10^5$  cells / 30 ml as much as 25 ml in castings of  $0.1 \text{ m}^3$ . This research will investigate the physical properties of concrete, which are workability, porosity, and shrinkage of concrete. The test objects are cylindrical and soaked in normal water for 28 days and 56 days. The workability test results showed the highest slump value obtained in bacterial concrete with a concentration of  $10^5$  cells / 30 ml with a slump value of 12 cm. The lowest porosity values of 28 and 56 days ages were obtained in bacterial concrete concentrations of  $10^5$  cells / 20 ml with porosity values of 12.83% and 10.31%, respectively. The concrete bacteria concentration of  $10^5$  cells / 20 ml also has the smallest shrinkage value of 0.064 mm. The addition of Bacillus Subtilis bacteria with a concentration of  $10^5$  cells / 20 ml was the most optimal of all variations of the concentration used to the physical properties test of concrete.*

*Keywords: Concrete, Volume Concentration, Bacillus Subtilis, Physical Properties*

### A. PENDAHULUAN

Pekerjaan konstruksi di Indonesia pada umumnya masih menggunakan beton sebagai bahan bangunannya. Hal ini dibuktikan lebih dari 60 % proyek pembangunan konstruksi di Indonesia menggunakan beton. Mulai dari pembangunan yang paling sederhana hingga proyek dengan teknologi rumit, beton menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013).

Beton digunakan karena material dari penyusunnya mudah didapatkan dan proses pengerjaannya yang cukup mudah. Beton segar mudah dibawa dan dibentuk sesuai keinginan, selain itu beton juga tahan terhadap api dan karat. Kelebihan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan harga yang relatif murah (Bhagyashri, et al., 2017).

Namun, beton dapat mengalami keretakan akibat penggunaannya. Penyebab dari keretakan itu terjadi karena pembebanan yang melebihi kapasitas beban

yang dapat dipikul oleh beton tersebut dan juga akibat kembang susut pada beton. Keretakan tersebut menjadi salah satu kelemahan pada beton. Keretakan pada beton akan mengakibatkan kekuatan pada beton juga akan menurun. Retak pada beton dapat diperbaiki dengan berbagai cara, tetapi dengan memperbaiki beton yang mengalami keretakan juga dapat memperburuk kondisi beton tersebut jika cara pengerjaannya kurang baik.

Beton pulih mandiri (*self healing concrete*) menjadi salah satu cara yang dapat mengatasi masalah keretakan pada beton. Beton pulih mandiri menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai bahan tambah. *Bacillus subtilis* dipilih karena menghasilkan zat kapur yang menjadi bahan utama semen. Bakteri ini dicampurkan ketika proses pengadukan beton sehingga ketika terjadi keretakan bakteri dapat mengisi keretakan tersebut. Menurut Agarwal dan Kadam (2017) bakteri *Bacillus subtilis* dapat menyembuhkan retak hingga lebar keretakan 0,5 mm.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

### **B.1 Beton**

Menurut SNI 2847:2013 beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Campuran tersebut apabila dituangkan kedalam cetakan akan mengeras seperti batuan. Hal tersebut terjadi karena adanya proses hidrasi antara air dan semen yang berlangsung dari waktu ke waktu. Proses tersebut yang akan menyebabkan bertambahnya kekuatan beton.

### **B.2 Material Penyusun Beton**

#### **B.2.1 Agregat**

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun bahan buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2003).

Agregat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang di dapat secara alami atau buatan.

Agregat kasar adalah material penyusun beton yang semua butirannya tertahan pada saringan berdiameter 4,75 mm. Agregat kasar akan berpengaruh terhadap kekuatan beton, sehingga dipilih agregat yang cukup keras, tidak mudah pecah, dan permukaan agregat bersih.

Agregat halus adalah material penyusun beton yang semua butirannya lolos pada saringan berdiameter 4,75 mm. Kualitas agregat halus akan mempengaruhi kekuatan beton. Agregat halus yang baik sedikit mengandung bahan organik, lumpur serta bahan-bahan yang dapat merusak beton. Gradasi butiran agregat halus juga mempengaruhi beton. Pasir agak kasar adalah pasir yang baik untuk campuran dalam beton.

#### **B.2.2 Semen**

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidraulis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

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

Air memiliki peran yang penting dalam proses pencampuran beton. Air yang digunakan dalam pengecoran sebaiknya air yang memiliki syarat air bersih. Air akan bereaksi dengan semen dan mengalami hidrasi. Reaksi ini terjadi antara silikat dan alumina pada semen dengan air. Dengan adanya air, senyawa silikat dan alumina tersebut membentuk produk hidrasi yang berupa massa yang keras dan kuat.

### **B.3 Bakteri *Bacillus Subtilis***

Bakteri *Bacillus Subtilis* adalah bakteri positif berbentuk batang yang biasanya ditemukan di dalam tanah. Pada

awalnya bakteri tersebut bernama *Vibrio Subtilis* yang diberikan oleh Christian Gottfried Ehrenberg dan kemudian diganti namanya oleh Ferdinand Cohn pada tahun 1872 menjadi *Bacillus Subtilis*. *Bacillus Subtilis* adalah bakteri berbentuk batang yang memiliki panjang antara 4 sampai 10 mikrometer dan berdiameter 0,25 sampai 1 mikrometer dengan volume sel 4,6 FL pada fase stasioner (Bhagyashri, et al., 2017).

#### **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).

#### **B.5 Sifat Fisik Beton**

##### **B.5.1 Workability**

*Workability* adalah kemampuan beton untuk dikerjakan baik dalam kemudahan proses pengerjaannya, penempatannya, dan pematatannya. *Workability* pada beton dipengaruhi oleh seberapa banyak air yang digunakan. Air tersebut akan membentuk pasta semen yang akan menyelimuti agregat. Semakin banyak pasta semen maka semakin mudah juga dalam proses pengerjaannya tetapi akan mengurangi dari kekuatan beton tersebut. Proporsi yang tepat antara pasta semen dan agregat tentunya akan meningkatkan *workability* dan kekuatan beton. Pengujian *workability* adalah dengan uji *slump test*. Nilai *slump test* yang dianjurkan untuk kemudahan proses pengerjaan di lapangan yaitu 7,5 cm – 15 cm karena masuk semua kriteria pekerjaan sesuai dengan standar PBI 1971.

##### **B.5.2 Porositas**

Porositas adalah perbandingan antara volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume

total beton. Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti faktor air semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai *slump*, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pematatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil (Sutapa, 2011).

##### **B.5.3 Penyusutan Beton**

Saat proses hidrasi, ketika air bercampur dengan semen maka beton akan melepaskan panas dan air, dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut sehingga menyebabkan terjadinya susut (*shrinkage*). Susut dapat diartikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Susut adalah sifat beton yang berupa mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan air. Susut pada beton merupakan salah satu akibat dari hilangnya kelembaban beton saat terjadi proses pengerasan (Ferguson, 1986).

### **C. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **C.1 Pengujian Karakteristik Material**

Pengujian karakteristik material ini dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus dengan tujuan mengetahui karakteristik material yang digunakan dalam campuran beton.

#### **C.2 Pengembangbiakkan Bakteri *Bacillus Subtilis***

Bakteri *bacillus subtilis* awalnya masih berbentuk isolat yang berasal dari Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada. Bakteri tersebut kemudian dikembangkan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau. Bakteri yang digunakan dalam pencampuran beton volume konsentrasinya bervariasi yaitu  $10^5$  cells/20 ml,  $10^5$  cells/25 ml, dan  $10^5$  cells/30 ml dengan jumlah 25 ml dalam setiap 0,1 m<sup>3</sup> pengecoran. Bakteri

*Bacillus Subtilis* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Larutan Bakteri *Bacillus Subtilis*

### C.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian penyusutan pada beton serta diameter 10,5 cm dan tinggi 10,5 cm untuk pengujian porositas. Jumlah benda uji yang akan dibuat sebanyak 32 buah. Rencana benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Pembuatan Benda Uji

		Bacterial Concrete							
		Normal Concrete		Konsentrasi		Konsentrasi		Konsentrasi	
				10 <sup>5</sup> cells/20 ml		10 <sup>5</sup> cells/25 ml		10 <sup>5</sup> cells/30 ml	
		Waktu Perawatan							
		28	56	28	56	28	56	28	56
Pengujian									
Porositas	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji	3 Benda Uji
Susut	2 Benda Uji	-	2 Benda Uji	-	2 Benda Uji	-	2 Benda Uji	-	-

### C.4 Perencanaan Mix Design

Mix design yang direncanakan dalam penelitian ini yaitu f'c 20 MPa. Komposisi campuran pada beton akan mempengaruhi kualitas pada beton itu sendiri. Perencanaan

mix design pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perencanaan Mix Design

Jenis Beton	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Bacillus Subtilis</i> (ml/m <sup>3</sup> )
Beton Normal	1123,88	603,32	425,51	179,06	-
Beton Bakteri	1123,88	603,32	425,51	179,06	250

### C.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dimulai dengan menimbang material campuran beton sesuai komposisi yang telah direncanakan. Material tersebut kemudian dicampur dengan mesin molen hingga campuran tersebut merata. Untuk beton pulih mandiri setelah campuran merata dimasukkan bakteri *bacillus subtilis* sesuai konsentrasi pengenceran yang telah ditentukan. Benda uji yang dibuat sebanyak 4 variasi konsentrasi dengan menggunakan 25 ml bakteri per 0,1 m<sup>3</sup> setiap variasi.

### C.6 Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah dibiarkan selama ± 24 jam, kemudian dilepaskan dari cetakan untuk dilakukan perawatan. Perawatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan cara perendaman di air normal. Perendaman dilakukan selama 28 dan 56 hari.

### C.7 Pelaksanaan Pengujian Benda Uji

#### C.7.1 Pengujian Workability

Prosedur pengujian *workability* sebagai berikut :

1. Adukan beton yang dihasilkan mesin molen diambil dengan menggunakan gerobak dorong untuk diuji.
2. Kerucut abrams diletakkan di alas yang rata yang tidak menyerap air (potongan pelat baja), kemudian diisi dengan campuran beton segar dengan cara memasukkan lapis demi lapis masing-masing 1/3 bagian kerucut dan setiap lapis ditusuk atau ditumbuk dengan tongkat (stick) sebanyak 25 kali.

- Setelah kerucut penuh, bidang permukaan atasnya diratakan, kemudian kerucut diangkat tegak lurus ke atas dan akan terjadi penurunan puncak bujur beton yang telah terbentuk kerucut. Ukur penurunan yang terjadi dengan membalikkan kerucut disebelahnya menggunakan perbedaan tinggi rata-rata dari benda uji. Besarnya penurunan ini disebut *slump*.

### C.5.2 Pengujian Porositas

Prosedur pengujian porositas sebagai berikut :

- Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman.
- Mengeringkan benda uji dengan menggunakan oven pasa suhu 100-110°C selama tidak kurang dari 24 jam hingga berat tetap. Kemudian didinginkan di udara kering hingga suhu 20-25°C, selanjutnya menimbang dan mencatat berat benda uji kering.
- Merendam benda uji di dalam air selama tidak kurang dari 48 jam.
- Setelah 48 jam benda uji dikeluarkan lalu mengelap permukaannya dengan menggunakan handuk. Kemudian menimbang dan mencatat berat jenuh benda uji.
- Selanjutnya menimbang dan mencatat berat benda uji didalam air.

### C.5.3 Pengujian Penyusutan Beton

Prosedur pengujian penyusutan beton sebagai berikut :

- Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman.
- Meletakkan benda uji pada alat uji susut pada tempat yang rata dan mengatur *dial gauge*. Pengujian dilakukan selama 28 hari.
- Mencatat nilai susut yang terjadi pada benda uji yang ditunjukkan pada *dial gauge* setiap hari sesuai waktu yang telah ditentukan dan mencatat suhu serta kelembaban udara.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk menghitung *mix design* yang akan digunakan. Pengujian ini meliputi pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan 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 Specific Gravity on SSD</i>	2,56	2,58 – 2,83
	a. <i>Absorption (%)</i>	1,11	< 2
3	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	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

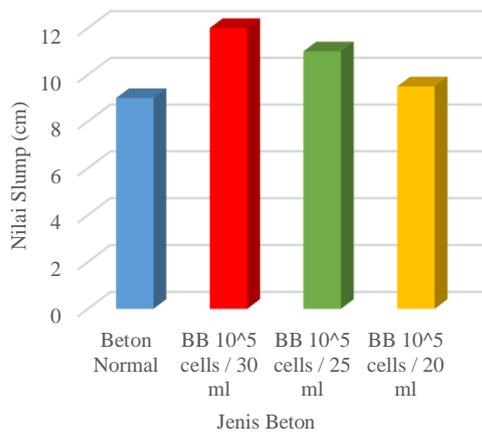
No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Air (%)	6,16	2 – 5
2	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,63	2,58 – 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	0,60	< 2
3	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )		
	a. Kondisi Gembur	1,5	1,4 – 1,9
	b. Kondisi Padat	1,6	1,4 – 1,9
4	Modulus Kehalusan	2,54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

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar dan halus didapat bahwa agregat yang digunakan umumnya telah memenuhi standar spesifikasi.

## D.2 Hasil Pengujian *Workability*

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai *slump* paling tinggi terdapat pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/30 ml yaitu dengan nilai *slump* 12 cm. Nilai *slump* terendah terjadi pada beton normal yaitu sebesar 9 cm. Semua nilai *slump* yang diperoleh memenuhi standar dari perencanaan nilai *slump* yaitu 7,5 – 15 cm.

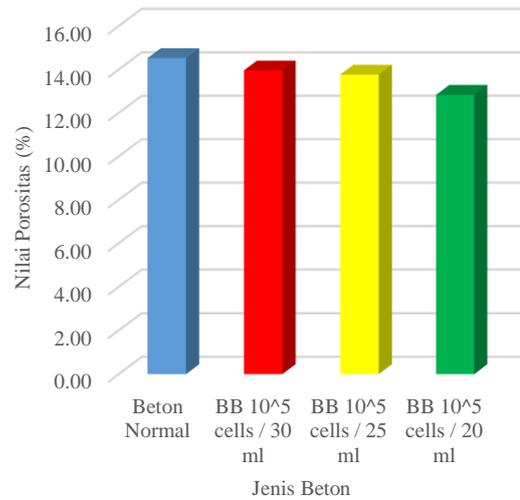
Nilai *slump* semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi bakteri yang ditambahkan. Konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml memiliki kondisi paling kental, sedangkan konsentrasi  $10^5$  cells/30 ml memiliki kondisi paling encer.



Gambar 2. Nilai *Slump* Pada Pengujian *Workability*

## D.3 Hasil Pengujian Porositas

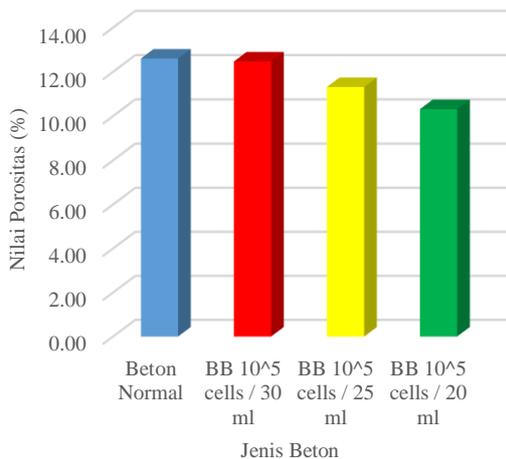
Berdasarkan hasil pengujian porositas untuk umur 28 hari dapat dilihat bahwa nilai porositas terkecil terdapat pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml sedangkan nilai porositas terkecil terdapat pada beton normal. Nilai porositas pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml yaitu 12,83%. Sedangkan beton normal memiliki nilai porositas paling besar yaitu 14,52%. Antara nilai porositas terkecil nilai porositas terbesar memiliki selisih 1,69%.



Gambar 3. Hasil Pengujian Porositas Umur 28 Hari

Gambar 4. menunjukkan hasil pengujian porositas untuk umur 56 hari. Pada umur 56 hari ini nilai porositas masih sama dengan nilai pada 28 hari yaitu nilai porositas terkecil terdapat pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml dan nilai porositas terbesar terdapat pada beton normal. Beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml memiliki nilai porositas sebesar 10,31%. Sedangkan nilai porositas pada beton normal menjadi nilai paling besar dibandingkan dengan beton tambahan bakteri lainnya yaitu 12,60%. Selisih antara nilai porositas terendah dan terbesar yaitu sebesar 2,29%.

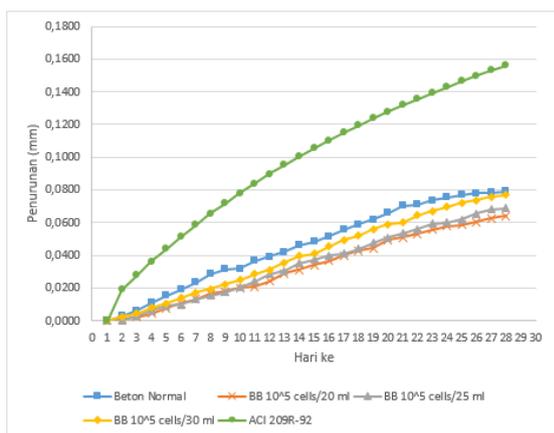
Porositas yang terjadi pada beton umur 56 hari lebih kecil dibandingkan dengan porositas umur 28 hari. Beton dengan tambahan bakteri memiliki nilai porositas yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bakteri tersebut akan mengurangi porositas yang ada pada beton. Hal itu terjadi karena aktivitas bakteri yang mengisi ruang pori pada beton.



Gambar 4. Hasil Pengujian Porositas Umur 56 Hari

#### D.4 Hasil Pengujian Penyusutan Beton

Hasil pengujian susut beton dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyusutan beton paling kecil terjadi pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml dengan besarnya penyusutan 0,064 mm atau setara dengan 64  $\mu$ m. Sedangkan penyusutan paling besar terjadi pada beton normal dengan besarnya penyusutan 0,079 mm atau 79  $\mu$ m.



Gambar 5. Hasil Pengujian Susut Beton

Nilai penyusutan tersebut kemudian dibandingkan dengan besarnya penyusutan yang diprediksi nilainya berdasarkan rumus ACI 209R-92. Besarnya nilai penyusutan yang didapat yaitu 0,1562 mm atau sama

dengan 156,2  $\mu$ m. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang ditambahkan bakteri *Bacillus Subtilis* mengalami penyusutan yang lebih kecil dibandingkan dengan 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. Pengujian *workability* yang dilakukan dengan cara *slump test* didapatkan nilai tertinggi pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/30 ml dengan nilai *slump* 12 cm. Sedangkan untuk nilai terendah didapatkan pada beton normal dengan nilai *slump* 9 cm.
2. Nilai porositas terendah untuk umur beton 28 hari didapatkan pada beton bakteri konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml dengan nilai porositas 12,83%, sedangkan nilai terbesar didapatkan pada beton normal dengan nilai porositas 14,52%. Pengujian porositas untuk umur beton 56 hari, nilai porositas terendah terdapat pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml dengan nilai 10,31% dan untuk nilai porositas tertinggi didapatkan pada beton normal dengan nilai porositas 12,60%.
3. Penyusutan beton terendah terjadi pada beton bakteri dengan konsentrasi  $10^5$  cells/20 ml dengan nilai susut 0,064 mm, sedangkan penyusutan terbesar terjadi pada beton normal dengan besarnya penyusutan 0,079 mm. Prediksi penyusutan yang terjadi berdasarkan ACI 209R-92 sebesar 0,1562 mm.
4. Volume konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* optimum yaitu  $10^5$  cells/20 ml.

### E.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan saran

yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya ataupun kepentingan lainnya sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah bakteri yang lebih bervariasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan perendaman yang lebih lama agar dapat melihat pengaruh bakteri lebih baik lagi.
3. Perlu dilakukan *scanning electron microscope* terhadap beton untuk mengetahui perkembangan bakteri dalam mengisi ruang beton.

### Daftar Pustaka

- Agarwal, G. & Kadam, R., 2017. Bacterial Concrete - A Solution To Crack Formation. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 4(10), pp. 1-6.
- Bhagyashri, P., Archana, m., Megh, B. & Sayali, P., 2017. Bacterial Concrete. *Journal of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering*, 4(2), pp. 393-397.
- Ferguson, P. M., 1986. *Dasar-Dasar Beton Bertulang Terjemahan Reinforced Concrete Fundamentals*. Jakarta: Erlangga.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2013. *Peranan Beton Dalam Pembangunan Infrastruktur Indonesia*, s.l.: Pusat Komunikasi Publik.
- SNI 2847, 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049, 2004. *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sukirman, S., 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Sutapa, A. G., 2011. Porositas, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Agregat Kasar Batu Pecah Pasca Dibakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Volume 15, pp. 50-57.