

SIFAT FISIK BETON DENGAN BAHAN TAMBAH BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* PADA LINGKUNGAN SULFAT

Kurnia Desmiletari¹⁾, Zulfikar Djauhari²⁾, Enno Yuniarto²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : kurnia.desmiletari@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Concrete is a common material used in structures, such as foundations, roads, and bridges. Concrete has a high compressive strength, but the tensile strength of the concrete is low. At the time the tensile strength limit of concrete is reached, the crack will exist on the tension side of the concrete. The use of bacteria as an added ingredient in concrete is an innovation to reduce the crack. According to Pangeran and Karolina's research (2017), the addition of bacteria to the concrete can also increase the compressive strength of the concrete. In this research, a 25 ml of Bacillus subtilis solution with the concentration of 10^5 CFU/ml were added to a concrete mixture. The concrete was soaked in normal water and sulfate solution with the concentration of 150 ppm and the physical properties were examined such as workability, porosity, and shrinkage. There were 3 variations in the specimens, namely normal concrete (BN), bacterial concrete (BB), and bacterial concrete soaked in sulfate solution (BBS). The results of this study indicated that slump on specimen BBS was 8.05% and 18.98% higher than specimen BN and BB, respectively. The porosity on specimen BBS was 11.07% and 14.47% higher than specimen BN and BB, respectively. Lastly, the shrinkage on specimen BBS was 1.42% and 18.54% higher than specimen BN and BB, respectively. So it can be concluded that bacteria does have a good effect on the physical properties and soaking the bacterial concrete on the sulfate can adversely affect the physical properties of concrete.

Keywords : concrete, bacillus subtilis bacteria, sulfate, physical properties

A. PENDAHULUAN

Beton sering kita temukan dalam kehidupan sehari-hari. Pada masa kini, beton merupakan pilihan utama dalam pembangunan konstruksi. Menurut Mulyono (2010), selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunannya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah lapangan pekerjaan. Pertimbangan lainnya dalam menggunakan beton sebagai bahan konstruksi bangunan adalah kelangsungan proses pengadaan beton dan proses produksinya. Kelangsungan proses pada

beton ini berupa pencampuran beton langsung di lapangan.

Terdapat beberapa permasalahan yang timbul pada beton karena seringnya digunakan, salah satunya keretakan pada beton. Keretakan pada beton sering terjadi karena kelelahan akibat pembebanan, rangkakan dan susut pada beton, faktor lingkungan, hingga kurang teliti dalam pengerjaan. Salah satu cara untuk mengurangi masalah pada keretakan, digunakan bahan tambah berupa bakteri yang dapat membuat beton bersifat pulih mandiri. Inovasi pemulihan keretakan pada beton di antaranya dengan menggunakan

bakteri *bacillus subtilis* disebut dengan *Self Healing Concrete*. Bakteri *Bacillus subtilis* dipilih karena dapat menghasilkan zat kapur yang merupakan bahan utama dari semen.

Perawatan beton seharusnya dilakukan pada air bersih, akan tetapi dengan hal tersebut sulit dilakukan pada lingkungan gambut. Sebab, pasokan air bersih di lingkungan gambut sangat terbatas sehingga dilakukannya perawatan dengan air gambut.

Air gambut mengandung senyawa organik dan senyawa asam yang dapat merusak keawetan dan kekuatan beton. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan tambah bakteri *bacillus subtilis* terhadap sifat fisik beton yang dilakukan perawatan di lingkungan sulfat.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton

Beton merupakan bahan bangunan dengan bahan penyusun semen, agregat, dan air. Beton akan memadat setelah dilakukan pencampuran dan pencetakan. Beton menjadi padat karena semen yang berhidrasi dan mengikat komponen penyusun beton lalu menjadi keras seperti batu.

B.2 Bahan Penyusun Beton

B.2.1 Semen

Semen adalah bahan pengikat yang berbahan dasar kapur. Semen merupakan salah satu bahan penyusun beton yang sangat penting karena sebagai bahan ikat.

Menurut Mulyono (2010), fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

B.2.2 Agregat

Agregat terbagi menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Isi penyusun beton terdiri dari kurang lebih 70% agregat. Agregat sangat berpengaruh kepada kualitas dan kuat tekan beton.

Agregat kasar yang disarankan memiliki bentuk bulat, tak beraturan, dan bersudut. Sedangkan yang tidak disarankan berbentuk pipih dan memanjang. Agregat halus harus bebas dari lumpur dan kadar organik, karena lumpur dan kadar organik dapat menurunkan kuat tekan beton sehingga beton lebih mudah retak, pengeringan beton memakan waktu lebih lama, hingga ikatan antara bahan penyusun beton yang lemah.

B.2.3 Air

Air merupakan media pengikat semen agar menjadi pasta yang akan mengikat material lainnya. Penambahan air ini berdampak pada kekuatan beton dan kinerja beton. Jika air yang dicampurkan dalam jumlah yang banyak maka akan menghalangi proses pengikatan agregat, tetapi jika sedikit pula jumlah air yang dicampurkan maka reaksi antara semen dan air tidak sempurna.

B.3 Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bakteri *bacillus subtilis* bereaksi dengan air dan menghasilkan zat kapur yang merupakan bahan utama dari semen. Zat kapur itu sendiri akan menutupi bagian yang retak pada beton. Dipilihnya bakteri ini karena dapat berkembang menjadi spora ketika retakan terjadi dan bakteri ini dapat hidup dalam suhu yang cukup tinggi ketika dilakukannya pencampuran beton.

Berdasarkan hasil penelitian Pangeran dan Karolina (2017), membuktikan adanya pertumbuhan bakteri *bacillus subtilis* pada bahan penyusun beton dan meningkatkan kuat tekan beton ketika dicampur dengan Natrium dan Kalsium.

B.4 Sifat Fisik Beton

B.4.1 *Workability*

Workability merupakan kemampuan beton untuk dikerjakan atau dilaksanakan, meliputi kemudahan pengerjaan, ditempatkan, dibawa, dipadatkan. Hal-hal yang dapat mempengaruhi *workability* adalah proporsi pasta semen atau proporsi campuran semen dan air dan tingkat gradasi agregat. Semakin banyak pasta semen, maka kemudahan pengerjaannya juga meningkat. Akan tetapi jika terlalu banyak akan mengakibatkan turunnya kuat tekan beton.

B.4.2 Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori atau volume yang dapat ditempati cairan terhadap volume total beton.

Perhitungan nilai porositas mengacu pada ASTM C 642 – 90 dengan persamaan :

$$n = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad \dots (1)$$

dengan n adalah porositas beton (%), W_1 adalah berat kering benda uji (kg), W_2 adalah berat benda uji jenuh ditimbang di udara (kg), dan W_3 adalah berat benda uji jenuh ditimbang di air (kg).

B.4.3 Susut

Shrinkage atau yang sering disebut dengan penyusutan merupakan sifat fisik beton dengan naiknya tegangan pori yang menyebabkan perubahan volume dan tidak berhubungan dengan beban. Hal-hal yang dapat mempengaruhi susut adalah faktor air semen dan mutu agregat yang digunakan.

Pada perancangan struktur beton, nilai susut sangat penting untuk mengetahui daya tahan struktur dan umur perencanaan beton. Akan tetapi, akan sulit jika dilakukan pengujian susut dalam jangka waktu panjang sehingga dapat dilakukan perhitungan prediksi susut

jangka panjang dengan menggunakan ACI 209R-92 seperti persamaan di bawah ini :

$$\varepsilon_{sh}(t, t_c) = \frac{t - t_c}{f + (t - t_c)} K_{ss} \cdot K_{sh} \cdot \varepsilon_{shu} \quad \dots (2)$$

dengan t adalah umur beton dimasukkan ke dalam *frame* susut (hari), t_c adalah umur perawatan beton (hari), f adalah konstanta penyusutan, K_{ss} adalah faktor koreksi bentuk dan ukuran, K_{sh} adalah faktor koreksi kelembaban, dan ε_{shu} adalah regangan ultimit susut (780×10^{-6}).

B.5 Kuat Tekan

Kuat tekan pada beton merupakan besar beban per satuan luas penampangnya. Faktor kekuatan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan faktor air semen dan perbandingan bahan pengisinya. Semakin tinggi tingkat kepadatan dan kekerasan beton maka hasil kuat tekan akan semakin besar pula nilainya.

Pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine* (CTM) dengan cara meletakkan benda uji tegak lurus dan memberikan beban tekan sampai benda uji hancur. Dari pengujian ini didapat hasil beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton. Dari hasil tersebut dapat dihitung kuat tekan beton dengan rumus sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots (3)$$

dengan f'_c adalah kuat tekan beton (MPa), P adalah beban tekan maksimum (N), dan A adalah luas permukaan beton (mm^2).

B.6 Sulfat

Berdasarkan *ACI Guide to Durable Concrete* (2008), lingkungan agresif pada beton adalah lingkungan yang memiliki kandungan kimia diatas konsentrasi minimum yang dapat bereaksi dengan beton dan menyebabkan kerusakan pada beton, termasuk asam sulfat. Asam sulfat merupakan asam mineral (anorganik) yang

kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Tahapan Pemeriksaan Agregat

Pengujian karakteristik yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis agregat, berat volume, keausan agregat kasar, kadar air, analisa saringan, pemeriksaan kadar lumpur, dan pemeriksaan zat organik pada agregat halus.

C.2 Mix Design Beton

Hasil pengujian karakteristik agregat digunakan untuk memperoleh rancangan campuran benda uji, yaitu beton dengan mutu 17 MPa. Komposisi untuk 1 m³ beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi untuk 1 m ³ Beton	
Bahan	Berat
Air	162,43 kg
Semen	325,77 kg
Agregat Kasar	988,73 kg
Agregat Halus	845,26 kg

C.3 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini pembuatan benda uji dilakukan dengan standar ACI 211.1-91 dan digunakan bakteri *bacillus subtilis* sebagai bahan tambah pada beton dengan cara dicampurkan langsung ketika dilakukannya pengadukan beton. Kadar bakteri yang digunakan sebanyak 10⁵ CFU/ml dalam 25 ml. Digunakan jumlah bakteri sebanyak 10⁵ CFU/ml karena pada penelitian Bai dan Varghese (2016) menunjukkan bahwa terjadinya kenaikan maksimum pada kuat tekan beton sebesar 2-7% pada beton dengan variasi bakteri sebesar 10⁵ CFU/ml.

Semua bahan penyusun beton ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah dihitung dan dicampurkan dengan mesin pengaduk sampai campuran merata. Setelah campuran merata, dilakukan uji *slump* untuk menentukan *workability* dari

campuran tersebut. Setelah itu beton dimasukkan ke dalam cetakan dengan tiga lapis yang sama tebalnya dan ditusuk sebanyak 25 tusukan per lapisannya. Benda uji didiamkan selama ±24 jam sampai mengeras baru dibuka cetakannya.

C.4 Perawatan Benda Uji

Pada penelitian ini, perawatan beton dilakukan dengan cara direndam pada air dengan campuran larutan sulfat di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau. Kadar sulfat yang digunakan sebanyak 150 ppm.

C.5 Pengujian Beton

Pengujian pada beton yang dilakukan meliputi *workability*, porositas, susut, dan kuat tekan, serta melihat perubahan fisik yang terjadi pada beton yang perawatannya pada air dengan campuran larutan sulfat.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Properties Agregat

Sebelum dilakukan pencampuran material, dilakukan pengujian karakteristik agregat kasar dan halus untuk menghitung *job mix design* beton.

Tabel 2. Hasil Pengujian Properties Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar Spesifikasi
1.	Kadar air (%)	0,15	3 – 5
2.	Berat volume (g/cm ³)		
	a. Kondisi gembur	1,3	>1,2
	b. Kondisi padat	1,5	>1,2
3.	Berat jenis		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,77	2,5 – 2,7
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,67	2,5 – 2,7
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,7	2,5 – 2,7
	d. <i>Absorption (%)</i>	1,47	< 4
4.	Modulus Kehalusan	6,95	5 – 8
5.	Keausan (%)	22,14	< 40

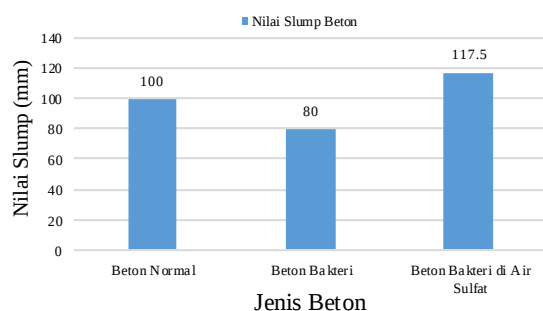
Tabel 3. Hasil Pengujian *Properties* Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar Spesifikasi
1.	Kadar air (%)	4,17	3 – 5
2.	Berat volume (g/cm ³)		
	a. Kondisi gembur	1,5	>1,2
	b. Kondisi padat	1,4	>1,2
3.	Berat jenis		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,65	2,5 – 2,7
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,59	2,5 – 2,7
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,61	2,5 – 2,7
	d. <i>Absorption (%)</i>	0,91	< 4
4.	Modulus kehalusan	2,57	1,5 – 3,8
5.	Kadar lumpur (%)	1,18	0,2 – 6
6.	Kadar organik	No. 2	< No.3

D.2 Hasil Pengujian Beton

D.2.1 Workability

Nilai *slump* menunjukkan kemudahan pengerjaan pada beton. Jika nilai *slump* rendah maka pengerjaannya semakin sukar. Pada pengujian ini, nilai *slump* yang direncanakan sebesar 7,5 - 12 cm. Nilai *slump* beton dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian *Slump* Benda Uji

Hasil dari Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai *slump* semua jenis beton memenuhi nilai *slump* rencana, yaitu sebesar 7,5 – 12 cm. Nilai *slump* tertinggi terletak pada jenis beton BBS dengan nilai 11,75 cm, lalu diikuti oleh beton BN dengan nilai *slump* 10,0 cm, dan beton BB dengan *slump* sebesar 8,0 cm.

Hasil nilai *slump* yang berbeda-beda disebabkan oleh pengerjaan beton secara tidak bersamaan, yang artinya perlakuan terhadap pencampuran beton berbeda-beda dan menghasilkan nilai *slump* yang berbeda pula. Hal ini juga mempengaruhi hasil pengujian yang lain pula.

D.2.2 Perubahan Fisik pada Beton di Air dengan Campuran Sulfat

Sebelum dilakukan perendaman, beton berwarna abu-abu dan memiliki pori yang kecil. Akan tetapi, setelah dilakukannya perendaman, beton berubah menjadi berwarna agak kuning kecoklatan dengan kristal-kristal putih berbentuk jarum di beberapa tempat. Menurut Rajiman dan Putra (2017), terbentuknya kristal-kristal putih berbentuk jarum terjadi ketika pasta semen terendam di dalam air yang mengandung sulfat maka akan terjadi reaksi yang menghasilkan gips. Gips akan membentuk kristal yang seperti jarum dan mengembang, serta mendesak sisi sekitarnya sehingga sisi-sisi pada beton lebih peka terhadap gangguan dan menyebabkan kerusakan pada beton.



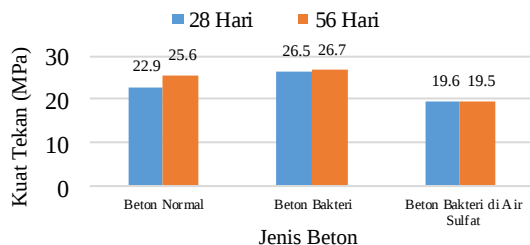
Gambar 2. Beton Sebelum dan Sesudah direndam pada Air Campuran Sulfat



Gambar 3. Perubahan pada Fisik Beton

D.2.3 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk semua jenis beton pada 28 hari dan 56 hari dengan bentuk benda uji berupa silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat di Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

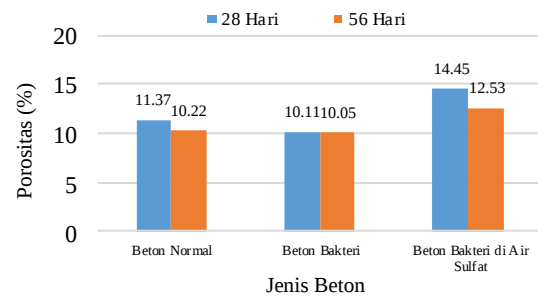
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, pada beton BN dan beton BB terjadi peningkatan nilai kuat tekan, sedangkan pada beton BBS terjadi penurunan nilai kuat tekan. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada beton BB umur 56 hari dengan kuat tekan sebesar 26,7 MPa dan nilai kuat tekan terendah terdapat pada beton BBS umur 56 hari dengan kuat tekan sebesar 19,5 MPa.

Jika dibandingkan antara beton BN dan beton BBS, dapat dilihat pada beton BBS lebih kecil nilai kuat tekannya dari pada nilai kuat tekan beton BN. Perbandingan kuat tekan beton antara beton BN dan beton BBS pada umur 28 hari sebesar 7,76% sedangkan pada umur 56 hari sebesar 13,52%. Naiknya angka kuat tekan beton di umur 56 hari pada beton BN dan turunnya angka kuat tekan pada beton BBS menyebabkan perbandingan yang lebih tinggi dari pada perbandingan kuat tekan pada umur 28 hari pada kedua jenis beton.

D.2.4 Porositas

Pada lingkungan asam, porositas merupakan salah satu sifat fisik yang berpengaruh terhadap kualitas beton.

Reaksi kimia antara beton dan air rendaman berupa sulfat dapat mendesak kapiler beton sehingga dapat memperbesar angka porositas beton dan menurunkan kuat tekan beton. Hasil pengujian porositas pada semua jenis beton dapat dilihat pada Gambar 5.



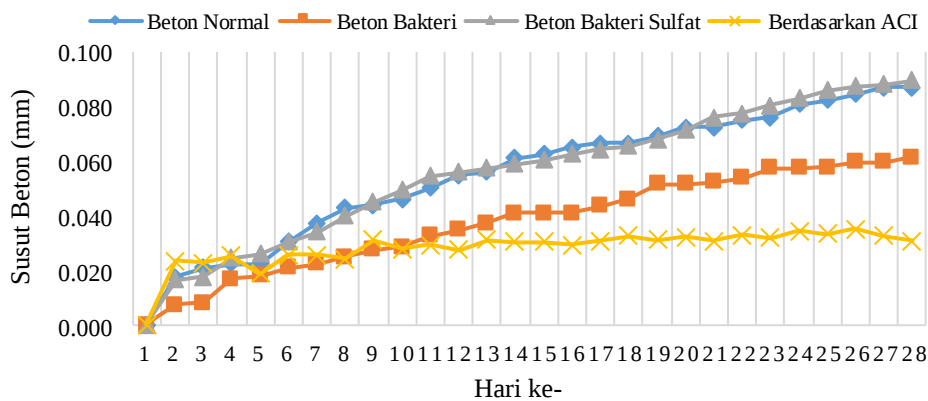
Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Porositas Beton

Dari hasil pengujian pada Gambar 4.13 secara umum menunjukkan bahwa beton pada umur 28 hari porositasnya lebih tinggi dari pada beton berumur 56 hari.

Persentase porositas beton BBS lebih tinggi dari pada beton BN. Perbandingan nilai porositas beton pada umur 28 hari dan 56 hari pada beton BN dan beton BBS berturut-turut senilai 11,93% dan 10,15%. Menurut Rinanda *et al* (2017), hal ini disebabkan oleh kadar kapur yang terlalu tinggi sehingga mempersulit proses hidrasi semen. Ketika semen mengeras, terjadinya reaksi pembebasan kapur dan ketika hal ini terjadi maka pasta semen membentuk saluran kapiler dimana Kalsium Hidroksida akan mengalir keluar sehingga saluran tersebut terisi kapur (Rajiman dan Putra, 2017).

D.2.5 Susut

Proses penyusutan pada beton ini dipengaruhi oleh suhu dan jumlah air. Pengujian susut beton ini dilakukan selama 28 hari dan dikontrol dalam 1×24 jam. Hasil pengujian susut beton dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Penyusutan pada Beton

Hasil pengujian susut pada gambar di atas menunjukkan penyusutan terbesar terjadi di beton BBS. Penyusutan pada beton BN sebesar 0,087 mm atau 87 μm lebih rendah dari pada penyusutan pada beton BBS yang sebesar 0,0895 mm atau 89,5 μm . Penyusutan paling rendah terjadi pada beton BB dengan nilai sebesar 0,0615 mm atau 61,5 μm . Hal ini sejalan dengan nilai slump beton BB yang kecil dan kuat tekan yang tinggi.

Nilai penyusutan pada beton BBS tidak sama dengan nilai penyusutan berdasarkan rumus ACI 209R-92. Nilai penyusutan berdasarkan ACI jauh lebih rendah dari pada nilai susut yang didapat dari laboratorium. Nilai penyusutan berdasarkan ACI dihitung berdasarkan presentase kelembaban, faktor koreksi, hingga nilai regangan ultimit susut.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Slump* rencana pada penelitian ini 7,5 – 12 cm dengan nilai *slump* pada beton normal sebesar 10,0 cm, pada beton bakteri sebesar 8,0 cm, dan pada beton bakteri sulfat sebesar 11,75 cm. Nilai *slump* pada setiap jenis beton memenuhi nilai *slump* rencana.
2. Penambahan bakteri *bacillus subtilis* dapat meningkatkan kuat tekan pada

beton yang dilakukan perawatan pada air normal. Akan tetapi, beton bakteri yang direndam pada larutan sulfat tidak berpengaruh baik dan dapat menurunkan kuat tekan beton. Jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal, maka penurunan yang terjadi pada beton bakteri yang direndam pada larutan sulfat pada umur 28 hari sebesar 7,76% dan pada umur 56 hari sebesar 13,52%.

3. Pada beton yang direndam dengan larutan sulfat terjadi perubahan fisik seperti warna yang berubah menjadi kuning kecoklatan. reaksi sulfat dengan beton yang menghasilkan kristal putih berbentuk seperti jarum, hingga rusaknya sisi-sisi pada beton.
4. Nilai porositas pada jenis beton dari umur 28 hari ke umur 56 hari menurun. Nilai porositas terendah terdapat di beton bakteri umur 56 hari dengan nilai sebesar 10,05% dan nilai porositas tertinggi terdapat di beton bakteri yang direndam dengan larutan sulfat umur 28 hari dengan nilai porositas sebesar 14,45%.
5. Pada pengujian susut beton, nilai susut tertinggi terdapat pada beton bakteri sulfat dengan susut sebesar 0,09 mm dan nilai susut terendah terdapat pada beton bakteri dengan susut sebesar 0,062 mm. Susut yang terjadi pada beton normal senilai 0,08 mm.
6. Berdasarkan rumus ACI 209R-92, susut pada beton bakteri sulfat tidak sesuai

dengan dengan nilai regangan susut jika dihitung dengan rumus ACI. Susut pada beton bakteri sulfat lebih besar dari pada nilai susut berdasarkan ACI.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya penelitian lanjutan dengan variasi kadar bakteri dan kadar larutan sulfat untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan dapat digunakan untuk melihat pengaruh terhadap perbaikan dan kekuatan pada beton.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan air rendaman dengan pH tinggi untuk melihat pengaruh perkembangan bakteri terhadap lingkungan basa.
3. Sampel benda uji diharapkan agar bisa dilebihkan untuk mengurangi kemungkinan kehilangan benda uji dan kesalahan dalam pengujian.

Daftar Pustaka

- ACI 209R-92. (1992). *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effect in Concrete Structure*.
- ACI 211.1-91. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- ACI 2R-08. (2008). *Guide to Durable Concrete*.
- ASTM C 642-90. (2008). *Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*
- Bai, C. P., & Varghese, S. (2016). An Experimental Investigation on The Strength Properties of Fly Ash Based Bacterial Concrete.
- Mulyono, T. (2010). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Pangeran, & Karolina, R. (2017). Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan Mencampurkan Bakteri *Basilus Subtilis* yang Dikapsulisasikan Kalsium Laktat.
- Rajiman, & Putra, D. G. (2017). Ketahanan Sulfat Semen OPC + Fly Ash dengan Portland Composite Cement (PCC) Pada Mutu Beton K-300.
- Rinanda, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2017). Kuat Tekan dan Porositas Beton OPC dan OPC POFA dengan Air Pencampur Gambut Menggunakan Bahan Aditif.