

SIFAT FISIK BETON PULIH MANDIRI DENGAN MEMANFAATKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Widika Arfa A¹⁾, 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 : widika.arfa@student.unri.ac.id

ABSTRACT

As the technology evolves, the utilization of micro-organisms such as bacteria has been developed and used as concrete mixtures. This was inspired by the ability of the bacteria which is able to repair the cracks on concrete, as known as self healing concrete. Therefore, properties of self healing concrete needs to be reviewed. This research used bacillus subtilis chemical solution with amount of 25 ml and with the concentration of 10^5 cells/ml. Research methodology consisted of adding bacteria solution on concrete mixtures. Cylinder compressive tests were initiated on normal concrete and bacterial concrete on age of 28 days and 56 days. Physical property of concrete was evaluated according to its workability, porosity, and shrinkage rate. The results showed that the slump on bacterial concrete was 80 mm. This indicated bacterial concrete had lower consistency than normal concrete. Porosity results on bacterial concrete was better with deviation of 11,241% compared to normal concrete on age of 28 days and low rate of shrinkage, i.e. 61,50 μm . Hence, it could be concluded that physical properties of self healing concrete is better than normal concrete.

Keywords : bacillus subtilis bacteria, self-healing concrete, physical properties of concrete

A. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang masih banyak digunakan pada bangunan di Indonesia. Berdasarkan data pada Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI) pada tahun 2015 memperkirakan penggunaan beton di Indonesia adalah sebesar 10 juta ton, naik 42% dari tahun 2014 sebesar 7 juta ton. Sedangkan berdasarkan data pada Asosiasi Perusahaan Pracetak dan Prategang Indonesia (AP3I) pada bulan September tahun 2017, penggunaan beton dalam bahan utama pembangunan infrastruktur dan konstruksi mencapai 34 juta ton atau naik sekitar 20% dibandingkan tahun sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa

hingga saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur.

Jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya, material beton memiliki keunggulan teknis yaitu memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan pengerjaannya (*workability*).

Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan salah satu yang cukup signifikan yaitu memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga mudah retak sebelum mencapai kekuatan batasnya, kekurangan lainnya seperti bentuk yang telah dibuat sulit diubah serta keretakan pada beton.

Retak pada beton bersifat progresif, sehingga potensi keretakannya harus dicegah secara dini. Kecenderungan beton untuk retak ini dapat mengurangi kinerja

pada beton. Jika keretakan pada beton terjadi secara terus-menerus, hal ini tentunya akan mempengaruhi kekuatan beton yaitu akan mereduksi kekuatan dari beton tersebut serta biaya pemeliharaan dari struktur bangunan yang menggunakan beton sebagai bahan konstruksinya.

Salah satu cara untuk mencegah keretakan beton secara dini berdasarkan kajian literatur adalah dengan memberikan bakteri pada campuran beton. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikaji sifat fisik beton yang dapat memperbaiki keretakan pada dirinya sendiri yang disebut dengan Beton Pulih Mandiri (*Self-Healing Concrete*) dengan cara memanfaatkan bakteri *Bacillus Subtilis* pada komposisi adukan beton.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Pengertian Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013, beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat.

B.2 Bahan Penyusun Beton

B.2.1 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen memiliki peranan sangat penting dalam komposisi pencampuran beton, karena semen berfungsi sebagai bahan yang mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat.

B.2.2 Agregat

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 agregat adalah material granular seperti pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku besi dipakai bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolis. Agregat beton dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus adalah agregat yang

ukuran butirnya lebih kecil dari 4,75 mm, sedangkan agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm (SNI 2943:2011).

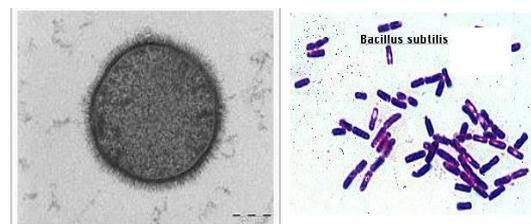
B.2.3 Air

Berdasarkan SNI 7974-2013, air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau semua logam yang ada di dinding. Secara umum, air pencampur harus memenuhi persyaratan teknis sebagai air pencampur dalam pembuatan beton, salah satu contohnya adalah air yang dapat diminum.

B.3 Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram-positif yang berbentuk batang dan bersumber dari tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi dengan kadar pH optimum pertumbuhan sebesar 7-8 (Graumann, 2007).

Bacillus subtilis memiliki sel yang berbentuk basil dengan ketebalan yang bervariasi. *Bacillus subtilis* memiliki bentuk yang khas yaitu berbentuk rantai dan tunggal yang kemudian membentuk endospora yang berbentuk bulat dan oval. Bentuk dari *Bacilla Subtilis* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Bacillus Subtilis*

Sumber : Jawets et al, 2005

Bacillus subtilis memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat hidup dan berkembang dengan baik walaupun dalam kondisi yang ekstrim, hal ini dapat terjadi dikarenakan *Bacillus subtilis* dapat membentuk endospora protektif yang

memberi kemampuan pada bakteri tersebut untuk dapat mentolerir keadaan yang ekstrim. *Bacillus subtilis* memproduksi sebuah endospora yang tahan terhadap faktor lingkungan seperti panas, asam, dan garam, yang dapat berada di dalam lingkungan dalam jangka waktu yang lama. Endospora terbentuk pada saat terjadi tekanan dalam bakteri yang memungkinkan organisme untuk terus berada di dalam lingkungan sampai kondisi menjadi baik. Keunggulan lainnya dari *Bacillus subtilis* adalah kelompok bakteri termofilik yang dapat tumbuh pada kisaran suhu -3°C - 80°C (Sharma, 2016).

B.4 Sifat Fisik Beton

B.4.1 Workability

Workability merupakan kemudahan dalam pengerjaan beton. Jumlah air yang digunakan dalam pengadukan campuran beton sangat mempengaruhi tingkat *workability* beton. *Workability* beton akan semakin meningkat jika semakin banyak jumlah air yang digunakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton.

B.4.2 Susut

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Susut pada beton dipengaruhi oleh panas yang ditimbulkan oleh semen selama proses pengikatan dan pengerasan. Besarnya susut yang terjadi pada beton berbeda-beda tergantung kepada bahan-bahan dan kondisi-kondisi pengeringan Penyusutan pada beton akan berakibat terjadi keretakan pada beton yang masih plastis dan bila terjadi retak maka akan mengakibatkan berkurangnya mutu beton yang dihasilkan.

B.4.3 Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton

terhadap volume benda. 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 pemadatan. Porositas beton adalah tingkatan yang menggambarkan kepadatan konstruksi beton. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar kuat tekan atau mutu beton. Porositas suatu bahan dinyatakan dengan rumus:

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

dengan P adalah Porositas (%), W_1 adalah berat sampel setelah di oven (kg), W_2 adalah berat setelah direndam/jenuh air ditimbang di udara (kg), W_3 adalah berat setelah direndam/jenuh air ditimbang di air (kg).

B.5 Beton Pulih Mandiri

Beton pulih mandiri merupakan inovasi teknologi yang dapat mengatasi keretakan dengan memanfaatkan bakteri *bacillus subtilis* dalam adukan campuran beton dengan harapan beton dapat memperbaiki keretakan pada dirinya sendiri lebih dini.

Bakteri akan memproduksi batu kapur sehingga akan mengisi bagian yang retak pada saat terjadi keretakan (Lala *et al.*, 2014). Proses beton memperbaiki keretakan pada dirinya sendiri dengan memproduksi asam oksalat, dan oksigen. Celah-celah keretakan menjadi tempat masuknya air dalam beton, sehingga spora bakteri yang berkecambah menjadi sel vegetatif yang aktif ketika kontak langsung dengan air, bakteri akan memakan asam oksalat kemudian menjadi batu kapur. Batu kapur tersebut akan mengeras pada retakan di permukaan beton, sehingga mengakibatkan penyumbatan dan menutupnya celah keretakan pada beton seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Keretakan pada Beton Sebelum dan Sesudah Perbaikan oleh Bakteri
Sumber : Hussain, 2016

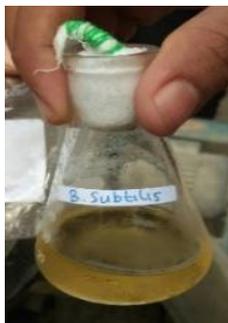
C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan material terdiri dari pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan halus. Untuk semen tidak dilakukan pengujian karena telah memenuhi standar uji (ASTM C150-07). Material yang digunakan adalah Semen PCC (*Portland Composite Cement*) dari PT. Semen Padang, agregat kasar berasal dari Sumatera Barat, agregat halus berasal Kabupaten Kampar dan *bacillus subtilis* berasal dari Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

C.2 Pengenceran *Bacillus Subtilis*

Bakteri *Bacillus Subtilis* yang digunakan pada campuran beton yaitu sebanyak 25 ml dalam 1 m³ beton dengan konsentrasi 10⁵ cells/ml. Bakteri diencerkan di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Riau. Bakteri *Bacillus Subtilis* yang telah diencerkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Larutan 25 ml *Bacillus Subtilis* dengan konsentrasi 10⁵ cells/ml

C.3 Perencanaan Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk beton normal dan beton bakteri. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kuat tekan, porositas, susut serta *workability*. Rencana benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Benda Uji

Uji	Normal Concrete			Bacterial Concrete		
	f _c trial mix	f _c 17 MPa	f _c 17 MPa	f _c trial mix	f _c 17 MPa	f _c 17 MPa
	Waktu Perawatan					
	7 hari	28 hari	56 hari	7 hari	28 hari	56 hari
Kuat Tekan	3 benda uji	-	-	3 benda uji	-	-
Porositas	-	3 benda uji	3 benda uji	-	3 benda uji	3 benda uji
Susut	-	2 benda uji	-	-	2 benda uji	-

C.4 Pembuatan Benda Uji

Sebelum melaksanakan pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan perencanaan *mix design* beton menggunakan hasil pengujian karakteristik material, kemudian digunakan untuk perancangan campuran beton untuk f_c 17 MPa. Berdasarkan komposisi campuran yang telah dihitung, semua material penyusun beton ditimbang dan dicampur menggunakan mesin pengaduk hingga campuran merata. Proses pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Pembuatan Benda Uji

C.5 Pengujian Beton

Pengujian yang akan dilakukan pada benda uji yaitu beton normal dan beton bakteri adalah pengujian sifat fisik beton yaitu *workability*, susut dan porositas beton tersebut setelah dilakukan perawatan pada beton dengan merendamnya di air normal selama 28 dan 56 hari. Tempat perendaman beton dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tempat Perendaman Beton

C.5.1 Tahap Pengujian *Workability*

Prosedur pengujian *workability* adalah sebagai berikut :

1. Membasahi cetakan dan pelat dengan kain basah.
2. Meletakkan cetakan di atas pelat dengan kain basah.
3. Mengisi cetakan sampai penuh dalam 3 lapis; tiap lapis berisi 1/3 isi cetakan; setiap lapis ditusuk tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata.
4. Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan; kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus ke atas.
5. Membalikkan cetakan dan letakkan perlahan-lahan disamping benda uji; ukurlah *slump* yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.
6. Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.

C.5.2 Tahap Pengujian Susut

Prosedur pengujian susut adalah :

1. Menyiapkan sampel silinder 15x30 cm pada umur 28 hari dari tempat *curing*.
2. Benda uji diletakkan pada alat uji susut. Pengujian direncanakan berlangsung selama 28 hari.
3. Memantau suhu dan kelembaban udara pada alat pengukur suhu dan kelembaban.
4. Mencatat perubahan spesimen akibat susut pada *dial gauge* yang memiliki ketelitian 0,01 mm setiap hari sesuai waktu yang telah direncanakan.

C.5.3 Tahap Pengujian Porositas

Prosedur pengujian untuk mengetahui porositas adalah sebagai berikut :

1. Mengeluarkan benda uji dari bak perendaman.
2. Mengeringkan benda uji dengan oven pada suhu 100-110°C selama ± 24 jam, biarkan dingin di udara kering sampai suhu 20-25°C lalu menghitung masa kering oven sebagai W1.
3. Melakukan perendaman dalam air kira-kira 21°C selama tidak kurang dari 48 jam.
4. Setelah masa perendaman 48 jam, maka permukaan benda uji dikeringkan dengan handuk agar menghilangkan kelembaban permukaan, lalu menentukan massa jenuh setelah perendaman sebagai W2.
5. Setelah penimbangan massa jenuh, lalu dengan menggunakan penggantung kawat menghitung massa sebenarnya dalam air sebagai W3.

D. Hasil dan Pembahasan

D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian yang dilakukan meliputi berat

jenis, kadar air, modulus kehalusan, ketahanan aus dan berat volume Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan pengujian yang dilakukan pada agregat halus meliputi kadar lumpur, kadar organik, berat jenis, kadar air, modulus kehalusan dan berat volume. Hasil pengujian karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

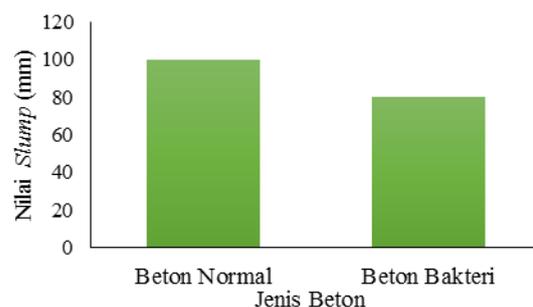
No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,70	2,58 – 2,83
	a. <i>Absorption (%)</i>	1,47	< 2
2	Modulus Kehalusan	6,95	6 – 7,1
3	Kadar Air (%)	0,15	3-5
4	Berat Volume (gr/cm^3)		
	b. Kondisi Padat	1,5	1,4 – 1,9
	c. Kondisi Gembur	1,4	1,4 – 1,9
5	Ketahanan Aus (%)	22,14	< 40

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Lumpur (%)	1,18	<5
2	Modulus Kehalusan	2,57	1,5 – 3,8
3	Berat Jenis		
	a. <i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,61	2,58 – 2,83
	b. <i>Absorption (%)</i>	0,91	< 2
4	Kadar Air (%)	4,17	3-5
5	Berat Volume (gr/cm^3)		
	a. Kondisi Padat	1,6	1,4 – 1,9
	b. Kondisi Gembur	1,4	1,4 – 1,9
6	Kadar Organik	No. 3	< No.3

D.2 Hasil Pengujian *Workability* Beton Normal dan Beton Bakteri

Berdasarkan Gambar 6 didapatkan nilai *slump* beton normal yaitu sebesar 100 mm, sedikit lebih besar dibanding nilai *slump* yang direncanakan yaitu 80 ± 3 mm, sedangkan nilai *slump* pada beton bakteri sesuai dengan yang direncanakan yaitu 80 mm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bakteri sebanyak 25 ml ke dalam adukan beton tidak mempengaruhi kelecakan pada beton segar yang masih memenuhi kelecakan rencana. Nilai *slump* pada beton bakteri dan beton normal memenuhi standar yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (2005) mengenai nilai *slump* untuk berbagai pekerjaan beton yaitu dalam *range* 50-150 mm untuk pelat, balok, kolom, dinding dan perkerasan jalan.



Gambar 6. Hasil Pengujian *Workability* Beton Bakteri dan Beton Normal

D.3 Hasil Pengujian Porositas Beton Normal dan Beton Bakteri

Hasil porositas pada Tabel 4 menunjukkan bahwa porositas yang dialami oleh beton normal lebih besar dibandingkan beton bakteri. Dengan porositas yang rendah yang dimiliki oleh beton bakteri, ini menunjukkan bahwa beton bakteri memiliki ruang pori yang kosong lebih sedikit, hal ini membuktikan bahwa bakteri berkembang dengan baik didalam beton.

Beton bakteri pada umur 28 hari memiliki nilai porositas yang lebih baik daripada beton normal dengan selisih

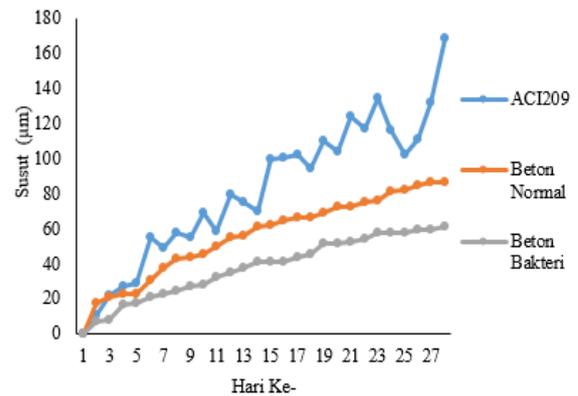
11,24%. Hal ini menunjukkan proses hidrasi beton berjalan dengan baik dan stabil pada umur 28 hari. Hasil porositas dan kuat tekan memiliki keterkaitan yang sangat erat, nilai porositas beton bakteri pada umur 28 hari sejalan dengan nilai kuat tekan beton bakteri pada umur 28 hari. Selanjutnya pada umur 56 hari persentase porositas beton bakteri menurun menjadi 10,05%. Penurunan nilai porositas yang kecil dialami oleh beton bakteri pada umur 56 hari dibandingkan umur 28 hari sebesar 1,51%. Hal ini pun sejalan dengan kuat tekan beton bakteri yang mengalami sedikit peningkatan pada umur 56 hari.

Tabel 4. Hasil Pengujian Porositas Beton Bakteri dan Beton Normal

No	Benda Uji	P (%)		P rerata (%)	
		28h	56h	28h	56h
1	<i>Bacterial Concrete</i>				
	I	8.39	7.14		
	II	11.31	10.23	10.21	10.05
	II	10.91	12.78		
2	<i>Normal Concrete</i>				
	I	10.65	11.81		
	II	9.59	9.33	11.35	10.22
	II	13.82	9.52		

D.4 Hasil Pengujian Susut Beton Normal dan Beton Bakteri

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh bahwa beton bakteri memiliki nilai susut yang lebih kecil daripada beton normal dan hitungan susut harian ACI209. Nilai susut beton bakteri sebesar 61,50 μm , susut berdasarkan ACI209 sebesar 168,55 μm dan beton normal sebesar 87 μm . Hal ini menunjukkan bahwa beton bakteri lebih dapat bertahan dari susut yang diakibatkan oleh suhu tinggi disekitar beton, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sharma (2016) yang menyatakan bahwa bakteri tahan terhadap suhu tinggi.



Gambar 7. Hasil Uji Susut Beton Bakteri dan Beton Normal

Semakin besar nilai susut beton maka akan semakin kecil kekuatan tekan dari beton tersebut. Kelembaban relatif juga mempengaruhi besarnya susut. Semakin tinggi kelembaban relatif disekitar beton maka akan semakin kecil laju susut beton tersebut.

E. Kesimpulan dan Saran

E.1 Kesimpulan

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

1. Nilai *slump* beton bakteri sebesar 80 mm. Penambahan bakteri pada adukan beton tidak mempengaruhi terhadap kelecakan beton. Sedangkan beton normal memiliki nilai *slump* 100 mm. Hal ini menunjukkan bahwa beton bakteri menyerap air lebih besar tetapi masih memenuhi nilai *slump* rencana yaitu 80 ± 3 mm, serta masih memenuhi nilai *slump* rencana yaitu 80 ± 3 mm untuk beton normal.
2. Nilai porositas beton bakteri memiliki nilai lebih kecil dibanding beton normal pada umur 28 hari dengan selisih 11,241%. Nilai porositas beton normal dan beton bakteri terus turun seiring dengan bertambahnya umur beton. Hasil ini sejalan dengan hasil uji kuat tekan beton, nilai porositas beton bakteri lebih kecil dibanding beton normal, yang menyebabkan nilai kuat

tekan beton bakteri lebih tinggi daripada beton normal.

3. Penyusutan tertinggi terjadi pada hitungan ACI209 yaitu beton normal yaitu 168,553 μm dan disusul oleh beton normal sebesar 87 μm . sedangkan beton bakteri mengalami penyusutan yang lebih kecil yaitu sebesar 61,50 μm . Hal ini menunjukkan bahwa beton bakteri memiliki kemampuan bertahan di suhu yang tinggi dan memperlambat terjadinya penyusutan.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian beton pulih mandiri dengan konsentrasi yang lebih bervariasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang *self-healing concrete* dengan menggunakan jenis bakteri yang lain.
3. Perlu dilakukan penambahan umur perendaman beton untuk mengetahui lebih lanjut ketahanan bakteri didalam beton.
4. Agregat yang akan digunakan sebagai material benda uji perlu dijaga kualitasnya agar pada saat pengujian, nilai-nilai karakteristiknya sesuai dengan standar spesifikasi yang telah ditetapkan.

Daftar Pustaka

- Agarwal, G., & Kadam, R. (2017). *Bacterial Concrete - A Solution to Crack Formation*, 4(10), 1–6. <https://doi.org/10.26562/IJIRAE.2017.OCAE10080>
- Anusha, V., Mythili, K., & Ratnam, V. (2015). *Investigation on Mechanical Properties of Bacterial Concrete with Flyash Partial Replacement, II*, 1401–1402.
- Damena, A., Fekadu, Y., & Shah, D. (2017). *Critical Literature Review on Improvement of Concrete Properties*

by Bacterial Solution.

- Gandhimathi, A., Vigneswari, N., Janani, S. M., Ramya, D., Suji, D., & Meenambal, T. (2012). *Experimental Study on Self – Healing Concrete*, 17–28.
- Jokohadikusumo, P. (2011). *Memahami Dunia Bakteri*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.
- Jonkers, H. M. (2011). *Bacteria Based Self-Healing Concrete*, 56(1), 1–12.
- Hussain, S. (2016). *Bacterial Concrete*.
- Graumann (2007). *Self-Healing Material Bacterial Concrete*, 2319–2322.
- Lala, R., Hussain, A., & Akhtar, S. (2014). *Self Healing Concrete*.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nagarajan, V., Prabhu, T. K., Shankar, M. G., Jagadesh, P., & Strain, G. (2017). *A Study on The Strength of The Bacterial Concrete Embedded with Bacillus Megaterium*, 1784–1788.
- Jawets, Pradeepkumar, A., & Plan, M. (2005). *An Experimental Work on Concrete by Adding Bacillus Subtilis*, 2(4), 69–73.
- Sekhar, M. R., & Ramakrishnaiah, A. (2017). *Bacterial Concrete and Effect of Different Bacteria on The Strength and Water Absorption Characteristics*, 1073–1080.
- Sharma, P. (2016). *A Study on Self-Healing Mechanism of Microcracks in Concrete Structures Using Bacillus Bacteria*, 2(1), 6–13.