

PENGARUH BAHAN TAMBAH BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON DI LINGKUNGAN SULFAT

Yaniarto Fitriana¹⁾, Zulfikar Djauhari²⁾, Enno Yuniarto²⁾

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

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

Laboratorium Teknologi Bahan Teknik Sipil Universitas Riau

Program Studi Teknik Sipil S1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. H.R. Soebrantas KM. 12,5 Pekanbaru 28293

Email: yaniartofitriana@gmail.com

ABSTRACT

The application of concrete to the sulfate environment potentially cause damage to concrete. The use of bacteria in concrete can be a concrete innovation to recover concrete (Self Healing Concrete) from the problem of concrete cracks. This study was conducted to examine the effect of Bacillus Subtilis bacteria on compressive strength and flexural strength of concrete in the sulfate environment. This research was conducted by adding 25 ml Bacillus Subtilis bacteria with concentration of 10^5 CFU/ml into a concrete mixture. Test objects were plain concrete beams with a size of 60x15x15 cm and cylinders with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The variation of test specimens consisted normal concrete soaked in normal water (BNN), bacterial concrete soaked in normal water (BBN) and bacterial concrete soaked in sulfate solution (BBS). Two tests were carried out, namely compressive strength test and flexural strength test. The test result showed that the compressive strength of BBS at the age of 28 and 56 days was 14% and 24% lower than that of BNN. Comparing to BBN, compressive strength of BBS at 28 and 56 days were lower 26% and 34%, respectively. Furthermore, the test result showed that the flexural strength of BBS at the age of 28 and 56 days was 14% and 9% higher than that of BN. Comparing to BBN, flexural strength of BBS at 28 and 56 days were higher 13% and 2%, respectively. The addition of bacteria to the concrete in the sulfate environment increases the flexural strength of the concrete.

Keywords: Self Healing Concrete, sulfate environment, Bacillus Subtilis, compressive strength, flexural strength.

A. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan daerah dengan lahan gambut terbesar kedua di Indonesia dengan luasan mencapai 3,867 juta Ha (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2016). Lingkungan gambut termasuk salah satu lingkungan agresif untuk beton, dimana lingkungan gambut memiliki tingkat keasaman yang melemahkan beton (Ansyari, 2017). Sifat asam air gambut sangat berpotensi menimbulkan kerusakan

pada struktur beton karena air gambut mengandung asam sulfat (ACI 201, 2008).

Pada era pembangunan seperti sekarang ini, beton menjadi bahan bangunan yang paling sering digunakan dibandingkan kayu dan juga baja. Penggunaan struktur beton menjadi pilihan utama untuk pembangunan konstruksi khususnya di wilayah Provinsi Riau. Hal ini dikarenakan struktur beton memiliki sifat *workability*, mudah dalam perawatan dan bernilai ekonomis (Fadillah, 2017). Namun permasalahan yang sering terjadi

pada beton yaitu sering terjadi retakan yang disebabkan banyak faktor, baik faktor internal maupun eksternal.

Lingkungan sulfat akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis beton. Serangan asam membuat pasta semen mengalami korosi sehingga dapat menimbulkan ekspansi, retak, dan kehancuran pada beton (Pradana, 2016). Sebenarnya setiap beton yang diaplikasikan pada struktur bangunan pasti akan terjadi retakan, yang harus dipertimbangkan adalah apakah retakan tersebut dapat ditolerir karena tidak berbahaya atau retakan tersebut membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan (Agustin & Kristiawan, 2014).

Seiring berjalannya waktu, penelitian mengenai inovasi *Self Healing Concrete* (SHC) selalu berkembang dan merupakan perkembangan inovasi yang dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya (Jonkers, 2010). Penggunaan bakteri sebagai bahan tambah dalam beton masih jarang digunakan. Penelitian ini mencoba mengaplikasikan bakteri sebagai media yang bisa membantu menutupnya retakan dalam beton dengan penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* yang dimasukkan ke dalam campuran beton.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1994).

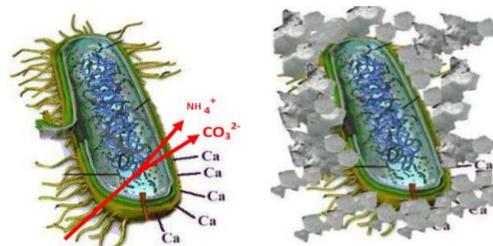
Pada tahap hidrasi pasta semen suatu butiran sangat halus hasil hidrasi disebut gel membentuk rangkaian tiga dimensi yang saling merekat satu sama lain secara acak dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang semula ditempati air. Sejumlah bahan tersedia dalam bentuk

tepung, yang dapat digunakan untuk menambah ketahanan terhadap *bleeding* (Istianto, 2010).

B.2 *Self Healing Concrete*

Salah satu inovasi *self healing concrete* adalah dengan memanfaatkan bakteri. Bakteri berperan sebagai agen perbaikan mandiri pada retakan beton dengan memproduksi kalsium karbonat. Prinsip dasar penerapan mikroba dan endapan CaCO_3 untuk *self healing concrete* adalah bakteri ditambahkan selama pengecoran berlangsung.

Cara kerja *bacterial concrete* adalah dengan memproduksi asam oksalat dan oksigen. Pada saat air mulai masuk melalui celah-celah di dalam beton maka bakteri akan tumbuh menjadi kecambah, ketika kontak secara langsung dengan air, bakteri akan memakan asam oksalat kemudian menjadi batu kapur. Batu kapur tersebut akan mengeras pada retakan di permukaan beton, sehingga menutup celah keretakan pada beton (Jonkers, 2010).



Gambar 1. Bakteri *Bacillus Subtilis* Membentuk CaCO_3

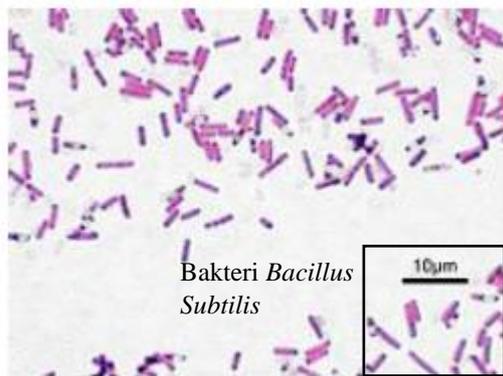
Sumber : (Rochani, Prasetyo, dan Kurniawan, 2016)

B.3 *Bacillus Subtilis*

Bakteri *Bacillus Subtilis* adalah bakteri positif berbentuk batang yang biasanya ditemukan di dalam tanah. Bakteri ini mampu membentuk pertahanan diri yang kuat, dengan membentuk endospore yang dapat tahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem (Afifah, 2017).

Bakteri *Bacillus Subtilis* bersifat Aerob Fakultatif yaitu bakteri yang saat

metabolisme membutuhkan bantuan oksigen tetapi juga menghasilkan energi secara anaerobic (Wicaksono, 2016). Mikroba yang digunakan adalah spesies *Bacillus* dan sama sekali tidak berbahaya bagi manusia. Bakteri *Bacillus Subtilis* mengendapkan kristal anorganik sehingga retak pada beton menutup dan bakteri *Bacillus Subtilis* dapat bertahan pada segala kondisi suhu (Ravindranatha, Kannan, dan Likhith, 2014).



Gambar 2. Bakteri *Bacillus Subtilis*
 Sumber : (Kumar, Devi, Anestraj, dan Santhoshkumar , 2015)

B.4 Lingkungan Sulfat

Air gambut di Provinsi Riau bersifat asam karena memiliki derajat keasaman (pH) yang rendah (Fadillah, 2017). Sifat asam air gambut sangat berpotensi menimbulkan kerusakan pada struktur beton karena air gambut mengandung asam sulfat (ACI 201, 2008). Kualitas air gambut tidak sesuai dengan SNI 03-2847-2002 karena ion mempunyai ion klorida 28,4 mg/liter dan ion sulfat 1020 mg/liter (Olivia, et al., 2017). Menurut SNI 2847-2013, air dengan kandungan sulfat 1020 mg/liter (ppm) diklasifikasikan sebagai tingkat keparahan sedang (kelas S1).

Pada serangan sulfat awalnya beton mengalami peningkatan kekuatan. Hal ini disebabkan hasil dari reaksi antara sulfat dengan pasta semen yang dapat menghasilkan ettringite. Namun bila pembentukan ettringite terus berlanjut sampai semua pori pada beton terisi hal ini dapat menyebabkan terjadi pengembangan

pada beton yang dapat menimbulkan keretakan sampai lepasnya partikel-partikel pada beton (Harahap, 2011).

B.5 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatannya. Suatu jumlah air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan (mudahnya beton dicorkan) akan tetapi menurunkan kekuatan (Istianto, 2010).

Untuk mendapatkan besarnya tegangan hancur pada benda uji digunakan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan:

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas permukaan benda uji (mm²)

B.6 Kuat Lentur

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 (SNI 4431, 2011).

Untuk menghitung kuat lentur benda uji berupa balok digunakan rumus:

- a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kuat Lentur } (\sigma_1) = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

- b. Sedangkan untuk pengujian apabila patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kuat Lentur } (\sigma_1) = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (3)$$

dengan:

- σ_1 =Kuat lentur benda uji (MPa)
- P =Beban tertinggi pada mesin uji
- L =Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
- b =Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h =Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
- a =Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pemeriksaan Bahan Penyusun Benda Uji

Bahan penyusun beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah. Sebelum melakukan pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan karakteristik bahan penyusun benda uji. Pemeriksaan agregat kasar dan halus terdiri dari analisa saringan, kadar air, berat jenis, berat volume, abrasi los angeles, kadar lumpur dan kadar organik.

C.2 Perencanaan Benda Uji

Perencanaan jumlah benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini berjumlah 63 benda uji. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sedangkan pengujian kuat lentur

menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 60x15x15 cm. Untuk setiap pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton pada umur perendaman 28 hari dan 56 hari dibutuhkan masing-masing 3 sampel beton uji tekan dan 4 sampel beton uji lentur. Variasi benda uji terdiri dari benda uji beton normal yang direndam air normal (BBN), beton bakteri yang direndam air normal (BBN), dan beton bakteri yang direndam larutan sulfat (BBS).

C.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*) Benda Uji

Desain campuran (*mix design*) beton dengan menggunakan metode ACI 211.1-91 dengan mutu beton 17 MPa. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 27 sampel beton yang digunakan untuk pengujian kuat tekan. Benda uji berbentuk balok dengan ukuran 60x15x15 cm sebanyak 36 sampel beton yang digunakan untuk pengujian kuat lentur. Perincian komposisi campuran dengan volume 1 m³ beton dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Untuk 1 m³

Campuran Beton	Berat (Kg)
Semen	325,77
Air	162,43
Agregat kasar	988,73
Agregat Halus	845,26

C.4 Pengujian Beton

C.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji diambil dari bak perendaman dan mengeringkannya,
- b. Benda uji yang telah dikeringkan tadi diberi *capping* (diberi lapisan belerang) pada permukaan yang tidak rata,
- c. Setelah *dicapping* benda uji ditimbang,

- d. Benda uji diletakkan mendatar pada kerangka alat uji tekan,
- e. Pembebanan dilakukan hingga benda uji hancur,
- f. Beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji dicatat,
- g. Kuat tekan beton dihitung yaitu beban persatuan luas tekan silinder.

C.4.2 Pengujian Kuat Lentur

Tahapan pengujian kuat lentur beton adalah sebagai berikut:

- a) Benda uji diambil dari bak perendaman dan mengeringkannya,
- b) Timbang dan catat berat benda uji,
- c) Buat garis-garis melintang sebagai petunjuk letak titik perletakan dan pembebanan serta garis sejauh 5% dari jarak bentang, di luar perletakan beton,
- d) Letakkan blok tumpuan di atas meja mesin uji desak bagian bawah,
- e) Tempatkan benda uji yang sudah ditimbang dan diberi tanda ke atas dua blok tumpuan/perletakkan,
- f) Letakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji,
- g) Jalankan mesin uji lentur. Pembebanan harus diatur sedemikian agar tidak menimbulkan beban kejut,
- h) Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum,
- i) Pada bidang patah, perhatikan apakah agregatnya pecah, lepas atau kombinasi keduanya.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Bahan Penyusun Benda Uji

Material yang digunakan untuk pembuatan benda uji harus dilakukan pengujian karakteristik material terlebih dahulu. Pemeriksaan karakteristik material dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Hasil

pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar Spesifikasi
1	Modulus kehalusan	6,95	6,0–7,1
2	Berat Jenis		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,77	2,58–2,83
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,66	2,58–2,84
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,7	2,58–2,85
	d. <i>Absorption</i>	1,47	< 2
3	Berat volume (g/cm ³)		
	a. Kondisi padat	1,52	1,40-1,90
	b. Kondisi gembur	1,38	1,40-1,90
4	Kadar air (%)	0,15	< 5
5	Ketahanan aus (%)	22,14	< 27

Tabel 3. Karakteristik Agregat Halus

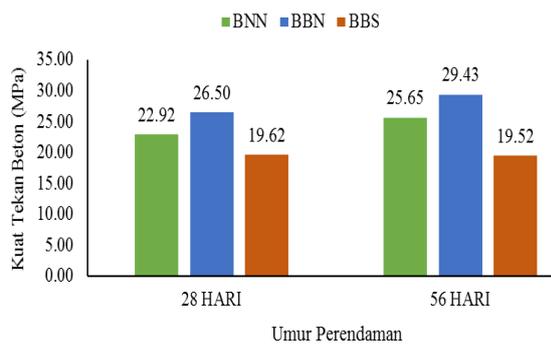
No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar Spesifikasi
1	Modulus kehalusan	2,57	1,5-3,8
2	Berat Jenis		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,65	2.58-2.83
	b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,59	2.58-2.84
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,61	2.58-2.85
	d. <i>Absorption</i>	0,91	< 2
3	Berat volume (g/cm ³)		
	a. Kondisi padat	1,58	1,40–1,90
	b. Kondisi gembur	1,42	1,40–1,90
4	Kadar air (%)	4,17	< 5
5	Kadar organik	No. 3	≤ No. 3
6	Kadar lumpur (%)	1,18	< 5

D.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari. Pengujian ini dilakukan hingga beton mencapai beban maksimum dan mengalami retak hancur. Benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil uji kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Umur	Kuat Tekan (MPa)		
	BNN	BBN	BBS
28 Hari	22,92	26,50	19,62
56 Hari	25,65	29,43	19,52



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan

Dari Gambar 3 di atas dapat dilihat bahwa pada umur perendaman 28 hari, kuat tekan beton bakteri yang direndam air normal (BBN) mengalami peningkatan sebesar 16% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal (BNN). Namun, beton bakteri yang direndam larutan sulfat (BBS) mengalami penurunan sebesar 14% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal dan sebesar 26% jika dibandingkan dengan dengan beton bakteri yang direndam air normal. Penurunan kekuatan beton terjadi akibat dari reaksi pasta semen dengan larutan sulfat sehingga merusak ikatan antar material penyusun beton. Reaksi larutan sulfat dan pasta semen

mengakibatkan korosi pada permukaan beton sehingga terjadi pengelupasan pada sisi beton yang menurunkan kuat tekan beton.

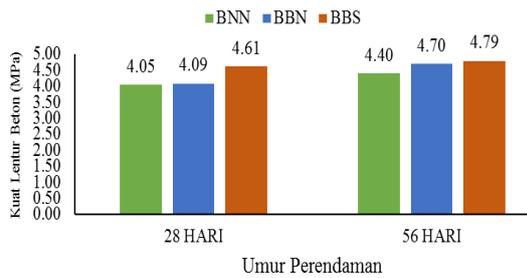
Pada umur perendaman 56 hari, beton bakteri yang direndam air normal (BBN) mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 15% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal (BNN). Peningkatan kuat tekan ini tidak terlalu tinggi jika dibandingkan pada umur perendaman 28 hari. Beton bakteri yang direndam larutan sulfat (BBS) mengalami penurunan kuat tekan sebesar 24% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal dan 27% jika dibandingkan dengan beton bakteri yang direndam air normal. Serangan larutan sulfat dapat menurunkan kekuatan beton. Namun akibat penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan berkembang biak di dalam beton sehingga penurunan dan peningkatan kekuatan beton saling menutupi.

D.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari dan 56 hari. Pengujian ini dilakukan hingga beton mencapai beban maksimum yang dapat ditahan beton hingga patah. Benda uji yang digunakan adalah benda uji balok dengan ukuran 60x15x15 cm. Hasil uji kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Umur	Kuat Lentur (MPa)		
	BNN	BBN	BBS
28 Hari	4,05	4,09	4,61
56 Hari	4,40	4,70	4,79



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kuat Lentur

Dari Gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa pada umur perendaman 28 hari, kuat lentur beton bakteri yang direndam air normal (BBN) hanya mengalami peningkatan sebesar 1% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal (BNN). Namun, beton bakteri yang direndam larutan sulfat (BBS) mengalami peningkatan yang besar yaitu 14% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal dan sebesar 13% jika dibandingkan dengan dengan beton bakteri yang direndam air normal. Pada serangan sulfat awalnya beton akan mengalami peningkatan kekuatan. Hal ini disebabkan hasil dari reaksi antara sulfat dengan pasta semen yang dapat menghasilkan *ettringite*. *Ettringite* ini akan mengisi pori-pori pada beton sehingga meningkatkan kekuatan beton.

Pada umur perendaman 56 hari, beton bakteri yang direndam air normal (BBN) mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 4% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal (BNN). Peningkatan kuat lentur ini lebih tinggi jika dibandingkan pada umur perendaman 28 hari yang hanya mengalami peningkatan sebesar 1%. Beton bakteri yang direndam larutan sulfat (BBS) mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 9% jika dibandingkan dengan beton normal yang direndam air normal dan 2% jika dibandingkan dengan beton bakteri yang direndam air normal. Pembentukan *ettringite* akibat dari serangan sulfat dapat menyebabkan ekspansi, retak dan kehancuran pada beton.

Namun dengan penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dapat memperbaiki kerusakan pada beton dan meningkatkan kekuatan beton.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap pengujian beton pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan BBN mengalami peningkatan pada umur 28 dan 56 hari sebesar 16% dan 15% dibandingkan BNN. Sedangkan BBS mengalami penurunan kuat tekan pada umur 28 dan 56 hari sebesar 14% dan 24% jika dibandingkan dengan BNN dan sebesar 26% dan 34% jika dibandingkan dengan BBN.
2. Hasil pengujian menunjukkan kuat lentur BBN mengalami peningkatan pada umur 28 dan 56 hari sebesar 1% dan 7% jika dibandingkan dengan BNN. Sedangkan BBS mengalami peningkatan kuat lentur pada umur 28 dan 56 hari sebesar 14% dan 9% jika dibandingkan dengan BNN dan sebesar 13% dan 2% jika dibandingkan dengan BBN.

E.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan beberapa saran yang dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap variasi kadar bakteri yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan dan perbaikan beton.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap air rendaman beton yang bersifat basa untuk melihat pengaruh bakteri pada kondisi basa.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 201. (2008). *201.2R-08 Guide to Durable Concrete* (1st ed.). USA.
- Afifah, S. (2017). Pengaruh Kuat Lentur Balok Self Healing Concrete Dengan Bakteri *Bacillus Subtilis* Terhadap Umur Perawatan Beton. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.*, 1–3.
- Agustin, R. S., & Kristiawan, S. A. (2014). Optimalisasi Penggantian Bahan Ikat Smart Concrete (Self Healing Concrete) Untuk Daerah Rawan Gempa. *JIPTEK*, 7(2), 34–38.
- Ansyari, B. (2017). Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton OPC dan OPC POFA dengan Air Gambut sebagai Air Pencampur dan Air Perendaman. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2016). *Lahan Gambut Indonesia: Pembentukan, Karakteristik, Dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan*. (F. Agus, M. Anda, A. Jamil, & Masganti, Eds.) (2nd ed.). Jakarta: IAARD Press.
- Dipohusodo, I. (1994). *Optimalisasi Penggantian Bahan Ikat Smart Concrete (Self Healing Concrete) Untuk Daerah Rawan Gempa*. Jakarta: Gramedia.
- Fadillah, M. L. (2017). Densitas , Nilai Slump , Dan Kuat Tekan Beton OPC Dan OPC POFA Dengan Campuran Air Gambut Terpapar Di Lingkungan Gambut. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–9.
- Harahap, R. H. (2011). Pengaruh Bahan Tambah Berbasis Gula Terhadap Porositas Dan Permeabilitas Beton Pada Lingkungan Agresif. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Sebelas Maret*.
- Istianto, M. M. (2010). Kajian Kuat Desak Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Tambah Metakaolin Dan Srat Alumanium. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Surakarta: Universitas Sebelas Maret*.
- Jonkers, H. (2010). BioConcrete : A novel bio-based material Outline :, 1–3.
- Kumar, A. P., Devi, A. R. A., Anestraj, S., Arun, S., & Santhoshkumar, A. (2015). An experimental work on concrete by adding *bacillus subtilis*. *IJETE*, 35(11), 911–915.
- Olivia, M., Ismeddiyanto, Wibisono, G., & Sitompul, I. R. (2017). Early age compressive strength, porosity, and sorptivity of concrete using peat water to produce and cure concrete. *AIP Conference Proceedings 1887, 020027*, 1–8.
- Pradana, T. (2016). Kuat Tekan dan Porositas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 8.
- Ravindranatha, Kannan, N., & Likhit, M. L. (2014). Self-Healing Material Bacterial Concrete. *IJRET*, 03(03), 656–659.
- Rochani, I., Prasetyo, A., & Kurniawan, A. (2016). Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri (*Bacillus Subtilis*) Sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton. *MGI*, 30(1), 49–57.
- SNI 2847. (2013). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- SNI 4431. (2011). Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan.
- Wicaksono, R. (2016). Pemanfaatan Bakteri *Bacillus Subtilis* Dan *Bacillus Cereus* Untuk Proses Self Healing Concrete Dengan Metode Enkapsulasi Hidrogel Bakteri. *Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.*, 1–5.