

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON DI LINGKUNGAN SULFAT

Ahmad Zulfitri¹⁾, Iskandar Romey Sitompul¹⁾, Zulfikar Djauhari¹⁾

¹⁾ Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Email : ahmad.zulfitri@student.unri.ac.id, iskandar.romey@lecturer.unri.ac.id,
zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Concrete has several advantages and disadvantages. One of the weaknesses of concrete is crack. The strength of concrete will decrease if there are cracks. One of the innovations that can overcome the problem is by using bacteria as a concrete mixture material. One way to overcome cracks in concrete is to add Bacillus subtilis bacteria. Bacillus subtilis bacteria is able to repair cracks in concrete. This study used concrete with a mixture of Bacillus subtilis bacteria with variations in the volume of different concentrations namely 105 cells/20 ml, 105 cells/25 ml and 105 cells/30 ml. Bacterial concrete soaked in the sulfate solution. This study examined the mechanical properties of concrete, namely compressive strength and flexural strength. Testing is carried out at the concrete age of 28 days and 56 days after soaking the sulfate solution. Based on the results of the study obtained that the volume of the best concentration of Bacillus subtilis bacteria on concrete is 105 cells / 20 ml, with the highest compressive strength test results with an increase of 28.16% and 22.94% against normal concrete at the time of testing at the age of 28 and 56 days, the highest flexural strength test results with an increase of 11.83% and 14.74% against normal concrete at the time of testing were 28 and 56 days old in the sulfate environment.

Keyword : cracks, Bacillus subtilis, sulfate, compressive strength, flexural strength

A. PENDAHULUAN

Beton memiliki 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.

Salah satu kekurangan beton adalah dapat mengalami keretakan. Keretakan yang terjadi pada struktur bangunan harus segera diatasi. Untuk mengatasi retakan pada kontruksi 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). Saat ini banyak penelitian tentang beton dengan menambahkan bahan tambah seperti abu terbang, serat tebu dan lain sebagainya. Penggunaan bakteri sebagai bahan tambah dalam beton masih jarang digunakan. Penelitian ini mengaplikasikan bakteri sebagai media yang bisa membantu menutup retakan

dalam beton dengan penggunaan bakteri *Bacillus subtilis* yang dimasukkan ke dalam campuran beton.

Sebagian besar wilayah Provinsi Riau bertanah gambut. Sering kali air yang digunakan untuk mengecor adalah air gambut. Air gambut mengandung senyawa organik dan senyawa asam yang dapat merusak keawetan dan kekuatan beton. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan tambah bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat mekanik beton yang dilakukan perawatan di lingkungan sulfat.

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 (Agustin & Kristiawan, 2014).

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 μ 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.

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* (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) (SNI-03-

1974, 1990). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

keterangan :

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas permukaan benda uji (mm^2)

B.3.2 Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI 4431 (2011) 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.

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

$$f_r = \frac{PL}{bh^2} \quad (2)$$

keterangan:

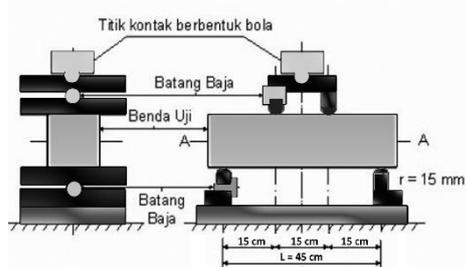
f_r = modulus of rupture (MPa)

P = beban maksimum (N)

L = Jarak garis perletakan (mm)

b = lebar spesimen (mm)

h = tinggi spesimen (mm)



Gambar 1. Pengujian Kuat Lentur (SNI 03-4431-1997)

B.4 Beton Pulih Mandiri

Keretakan pada beton bisa pulih bila terkena tingkat kelembaban tinggi. *Self healing* atau *autogenous healing* telah lama diketahui. Salah satu inovasi *self healing concrete* adalah dengan memanfaatkan

bakteri. 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.

B.5 Bakteri *Bacillus Subtilis*

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 (Backman et al., 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 $45\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai pertumbuhan suhu optimum pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}$. Sehingga bakteri ini dapat tetap hidup didalam beton

B.5 Lingkungan Sulfat

Lingkungan asam akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis beton, karena dapat menyebabkan terjadinya disintegrasi pada beton. Serangan asam membuat pasta semen mengalami korosi, sehingga dapat menimbulkan ekspansi, retak dan kehancuran pada beton (Hutapea, 2014).

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 Bingkuang 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. Beton normal dan beton bakteri diuji hingga mencapai beban maksimal dan beban retak awal. Rencana benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Pembuatan Benda Uji

| | | <i>Bacterial Concrete</i> | | | | | | | |
|-------------|--|---------------------------|----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | <i>Normal Concrete</i> | | Konsent rasi | | Konsentra si | | Konsentra si | |
| Pengu jian | | | | 10 ⁵ cells/20 ml | 10 ⁵ cells/25 ml | 10 ⁵ cells/25 ml | 10 ⁵ cells/25 ml | 10 ⁵ cells/30 ml | 10 ⁵ cells/30 ml |
| | | Waktu Perawatan | | | | | | | |
| | | 28 | 56 | 28 | 56 | 28 | 56 | 28 | 56 |
| Kuat Tekan | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Kuat Lentur | | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 |

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 m³ 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

| Agregat Kasar (kg/m ³) | Agregat Halus (kg/m ³) | Semen (kg/m ³) | Semen (kg/m ³) |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1123,88 | 603,32 | 425,51 | 179,06 |

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 Pengenceran Larutan Sulfat

Untuk mendapatkan kadar 150 ppm, sulfat dengan kepekatan 98% harus dilarutkan dalam air hingga didapat kadar yang telah ditentukan.

C.6 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.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji berfungsi agar proses hidrasi pada beton sempurna dengan berbagai cara seperti meletakkan beton di dalam ruangan yang lembab, menyelimuti beton dengan penutup yang basah, menyirami beton secara teratur, atau meletakkan beton dalam genangan air atau perendaman. Pada penelitian ini, perawatan beton dilakukan dengan cara direndam pada lingkungan campuran sulfat selama 28 dan 56 hari.

C.7 Pelaksanaan Pengujian Beton

C.7.1 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 2. 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 kekuatan tekannya dari bak perendam/pematangan (*curing*), kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab dan dikeringkan selama ± 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 lapiisi 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



Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan

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 pengujian kuat lentur adalah :

- a) Benda uji diambil dari bak perendaman dan mengeringkannya,
- b) Ukur dan catat dimensi penampang benda uji dengan menggunakan meteran,
- c) Timbang dan catat berat benda uji,
- d) Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk letak titik perletakan, dan titik pembebanan serta garis sejauh 5% dari jarak bentang, di luar perletakan beton, untuk sistem pembebanan 2 titik beban,
- e) Letakkan blok tumpuan di atas meja mesin uji desak bagian bawah, dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji,
- f) Tempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur dan diberi tanda ke atas dua blok tumpuan/perletakkan,
- g) Letakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji,
- h) Jalankan mesin uji lentur, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat di tengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedemikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut,
- i) Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah

C.7.2 Pengujian Kuat Lentur Beban

Retak Awal

Pegujian uji lentur beban retak awal dilakukan setelah benda uji di *curing* selama 28 hari (Tahap I), 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 pada umur beton 56 hari.

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 Specific Gravity on SSD</i> | 2,56 | 2,58 – 2,83 |
| | b. <i>Absorption (%)</i> | 1,11 | < 2 |
| 3 | Berat Volume (gr/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 ³) | | |
| | 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 |

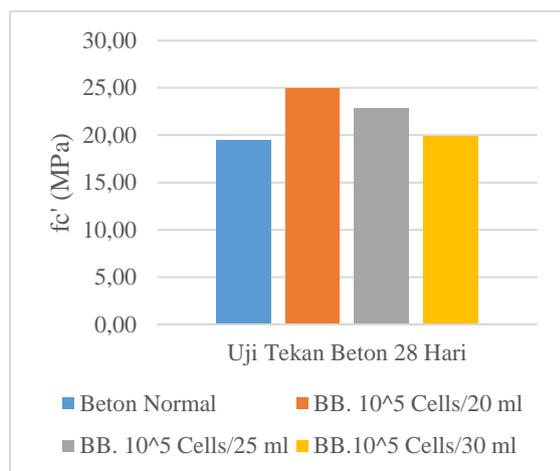
Berdasarkan tabel 3 dan 4 diketahui bahwa nilai kadar air tidak memenuhi standar yang digunakan yakni sebesar 0,91% dan 6,16, hal ini terjadi dikarenakan kadar air yang digunakan adalah yang

terkandung dalam agregat yang berada di lapangan langsung, sebaiknya dilakukan penghamparan agregat agar didapatkan kondisi agregat yang SSD.

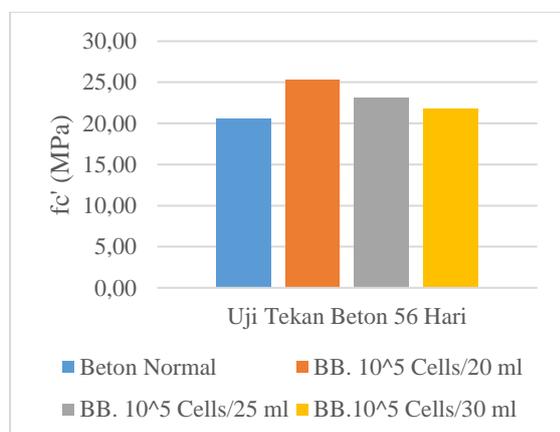
D.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

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 24,90 MPa untuk perawatan 28 hari dan 25,28 MPa perawatan 56 hari . Kuat tekan beton bakteri konsentrasi 10^5 cells/ 20 ml meningkat 28,16 % pada umur perawatan 28 hari dan 22,94 % 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 4. Nilai Kuat Tekan 28 Hari

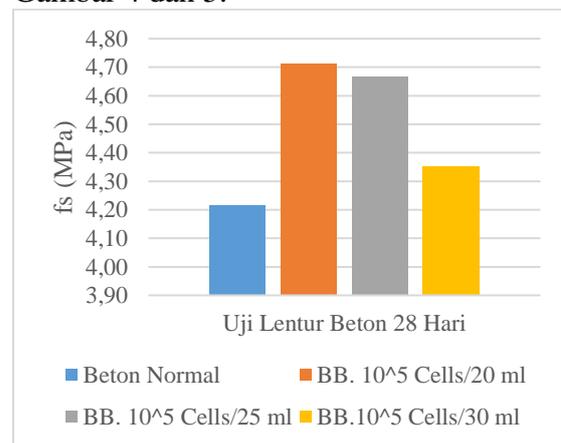


Gambar 5. Nilai Kuat Tekan 56 Hari

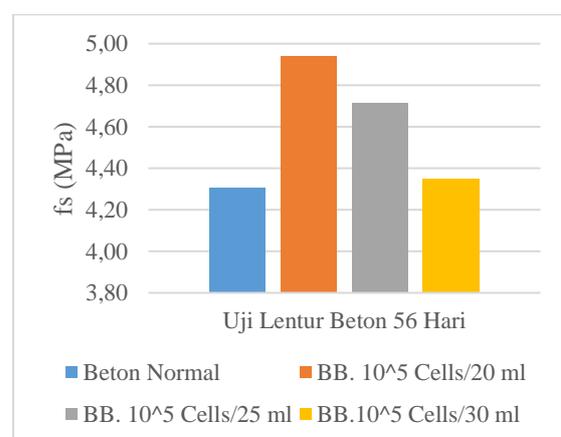
D.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur

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 4,71 MPa untuk perawatan 28 hari dan 4,94 MPa perawatan 56 hari . Kuat lentur beton bakteri konsentrasi 10^5 cells/ 20 ml meningkat 11,83% pada umur perawatan 28 hari dan 14,74% 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 6. Nilai Kuat Lentur 28 Hari



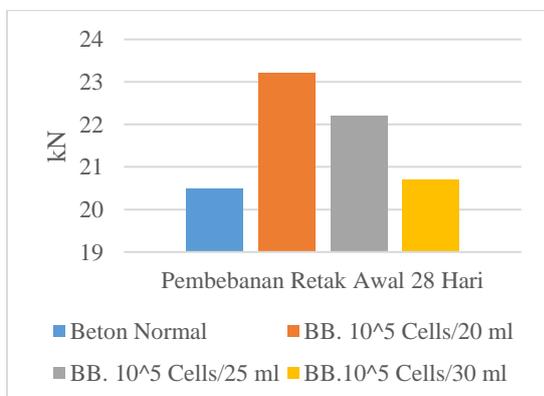
Gambar 7. Nilai Kuat Lentur 56 Hari

D.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Beban Retak Awal

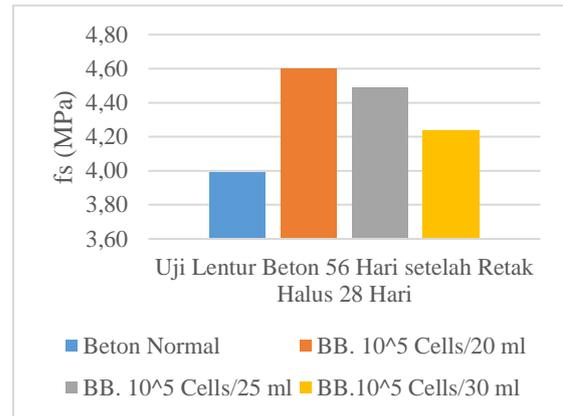
Dengan pembebanan retak awal sebesar 20 kN untuk beton normal, 23 kN untuk beton bakteri 10^5 cells/ 20ml, 22 kN untuk beton bakteri 10^5 cells/ 25ml, 21 kN untuk beton bakteri 10^5 cells/ 30ml. Beban yang diberikan merupakan tegangan awal beton saat mengalami keretakan.

Nilai kuat lentur beton normal pada umur perawatan 56 setelah diuji retak di 28 hari adalah 3,99 MPa. Sedangkan beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 20ml didapat 4,60 MPa umur perawatan 56 setelah diuji retak di 28 hari. Kuat lentur beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 25ml didapat 4,49 MPa umur perawatan 56 setelah diuji retak di 28 hari. Kuat lentur beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 30ml didapat 4,24 MPa umur perawatan 56 setelah diuji retak di 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 20ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 15,34% pada terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 25ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 12,5% terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 30ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 6,25% terhadap beton normal.

Nilai bacaan beban beton dengan beban retak awal pada Gambar 6 dan nilai kuat tekan lentur beton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 8. Nilai pembebanan retak awal



Gambar 9. Nilai kuat lentur 56 hari setelah diuji retak awal

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan mengenai beton pulih mandiri dengan membandingkan beton normal dengan beton yang ditambahkan bakteri *Bacillus subtilis* yang direndam di air sulfat, maka diambil 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. Terjadi perubahan warna dan tekstur beton yang direndam larutan sulfat. Pada umur 28 hari beton mulai berwarna kuning karat pada sebagian permukaannya dan mulai muncul kristal kapur. Pada umur 56 hari beton berubah warna menjadi kuning karat dan mulai terjadi pengeroposan akibat korosi asam.
3. Kuat tekan beton bakteri konsentrasi 10^5 cells/ 20 ml meningkat 28,16% pada umur perawatan 28 hari dan 22,94% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal. Kuat tekan beton bakteri konsentrasi 10^5 cells/ 25 ml meningkat 17,48% pada umur perawatan 28 hari dan 12,39% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal. Kuat tekan beton bakteri konsentrasi 10^5 cells/ 30 ml meningkat 2,43% pada umur perawatan 28 hari dan 5,96% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal.

4. Hasil pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 20ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 11,83% pada umur perawatan 28 hari dan 14,74% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 25ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 10,75% pada umur perawatan 28 hari dan 9,47% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 30ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 3,22% pada umur perawatan 28 hari dan 1,05% pada umur perawatan 56 hari terhadap beton normal.
5. Hasil pengujian kuat lentur yang sudah diberikan beban retak awal diumur 28 hari menunjukkan bahwa beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 20ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 15,34% pada terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 25ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 12,5% terhadap beton normal, beton bakteri dengan konsentrasi 10^5 cells/ 30ml memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi 6,25% 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 Radstrom, N Qian, C Pahlson, P Olcen (1994). Detection of bacterial DNA in cerebrospinal

fluid by an assay for simultaneous detection. *Journal of clinical microbiology*, 2738.

ASTM C 127-01. (t.thn.). *Standart Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Agregate*.

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*.

Agustin RS, Kristiawan SA (2014). Optimalisasi Penggantian Bahan Ikat Smart Concrete (Self Healing Concrete) Untuk Daerah Rawan Gempa. *JIPTEK VII(2)*:

Hutapea, U. (2014). Ketahanan Mortar Di Lingkungan Asam Dengan Berbagai Tipe Semen. *Jom FTEKNIK*, 1–14.

Jonkers. (2011). Bacteria Based Self Healing Concrete. *Heron*, 56(1/2), 1.

Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, 220-227.

SNI 03-1968. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1969 . (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1970. (1970). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standardisasi nasional.

- SNI 03-1971. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2417. (1991). *Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2816-1992. (t.thn.). *Metode Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2834-1993. (1993). *Tatacara Pembuatan Rancangan Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4428. (1997). *Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4431-1997. (1997). *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804. (1998). *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998. (1998). *Pemeriksaan Berat Volume Agregat*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1972. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2816. (2014). *Metode Uji Bahan Organik Dalam Agregat Halus Untuk Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI -4431-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI-03-1974. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan*.
- SNI-03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI-15-064-2004. (2004). *Semen Portland Komposit*. Badan Standardisasi Nasional.