

**PENGARUH KUAT LENTUR BALOK *SELF HEALING CONCRETE* DENGAN
BACILLUS SUBTILIS TERHADAP UMUR PERAWATAN¹**

Siti Affiah², Bagus Soebandono³, Martyana Dwi Cahyati⁴

**1 Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta, Email: ifaaffiah111@gmail.com**

**2 Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta**

ABSTRAK

Beton merupakan campuran dari semen yang telah melewati beberapa proses, salah satunya pada proses (CaCO_3) dipanaskan sehingga akan mengeluarkan gas kalsium oksida (CaO) dan melepaskan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk samping. Produksi semen dapat memberikan kontribusi 10% emisi ke atmosfer, sehingga menjadi salah satu faktor pemanasan global. Meningkatnya jumlah penduduk setiap tahunnya memiliki dampak pembangunan gedung yang terus bertambah.

Indonesia merupakan salah satu Negara yang sering mengalami gempa. Dari peristiwa tersebut menimbulkan dampak negatif yaitu timbulnya keretakan elemen struktur seperti: balok, kolom, dan plat. Seiring berjalannya waktu, penelitian mengenai inovasi yang dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya. Bakteri *Bacillus Subtilis* merupakan bakteri yang digunakan untuk memperbaiki keretakan beton berupa *Self Healing Concrete* dengan cara kerja keretakan yang muncul akan menutup dengan sendirinya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kuat lentur beton normal dan beton bakteri dengan rentan waktu 7, 14, 21, dan 28 hari. Pada penelitian ini menggunakan benda uji balok yang berukuran $15 \times 15 \times 60$ cm dengan sampel sebanyak 10 buah dan silinder beton 5 buah dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat lentur tahap I yaitu pengujian balok hanya sampai retak rambut kemudian dilakukan perawatan dengan injeksi menggunakan cairan bakteri *Bacillus Subtilis*. Setelah itu dilakukan pengujian tahapan ke II berdasarkan waktu yang telah ditentukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok dengan umur perawatan yang telah ditentukan mengalami peningkatan. Hal ini karena berpengaruh terhadap kuat tekan dan umur perawatan pada balok. Balok normal memiliki nilai kuat lentur sebesar 11,89 MPa dan balok yang menggunakan bakteri sebesar 12,51 MPa. Sehingga pada balok normal dengan balok bakteri mengalami peningkatan sebesar 5,2 %.

Kata kunci: *Bacillus Subtilis*, kuat lentur, kuat tekan dan *Self Healing Concrete*.

¹ Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir, 22 Mei 2013

² 20130110402 Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UMY

³ Dosen Pembimbing Tugas Akhir I

⁴ Dosen Pembimbing Tugas Akhir II

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton memiliki sifat yang rentan terhadap kerusakan dari kondisi lingkungan, beban yang ekstrim dan dari serangan kimia. Jenis bahan penyusun, proses pembuatan sampai proses perawatan berpengaruh terhadap kualitas beton.

Keretakan beton merupakan salah satu hal yang berpengaruh pada kegagalan struktural. Apabila keretakan beton meluas sampai tulangan maka akan terjadi korosi. Untuk mengatasinya digunakan cara perbaikan konvensional yaitu penggunaan epoksi resin yang tidak ramah lingkungan karena menggunakan bahan tambah kimia. Tetapi perbaikan tersebut sampai saat ini masih digunakan karena memiliki kemampuan yang lebih baik dari sisi durabilitas.

Adanya perkembangan inovasi bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai salah satu alternatif pada proses pemulihan keretakan dengan *Self Healing Concrete* yaitu keretakan akan menutup sendiri, karena *Bacillus Subtilis* memiliki kalsium bikarbonat sehingga dapat memperbaiki keretakan dengan sendirinya.

Bakteri yang digunakan pada saat balok mengalami retak rambut (awal) dengan cara menginjeksi cairan ke dalam balok, dengan umur perawatan 7, 14, 21 dan 28 hari. Sampel balok yang dibuat sebanyak 10 buah dan silinder sebanyak 5 buah, kemudian akan diuji kuat lentur dan kuat tekannya.

Sehingga *Bacillus Subtilis* dapat berpengaruh terhadap kuat lentur balok yang ramah lingkungan dimasa mendatang.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh kuat lentur balok dengan menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai *Self Healing Concrete* pada umur perawatan 7, 14, 21, dan 28 hari?
2. Bagaimana perbandingan terhadap kuat lentur antara balok normal dan balok *Self Healing Concrete*?
3. Apa saja jenis keretakan beton bertulang yang terjadi pada balok?

C. Manfaat Penelitian

Untuk perkembangan inovasi yang bermanfaat bagi peneliti dan masyarakat yaitu mengenai permasalahan pada keretakan bangunan kontruksi dengan menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai media penyembuhan keretakan.

D. Batasan Penelitian

1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm.
2. Parameter yang digunakan *displacement*, beban, dan kuat lentur.
3. Sampel benda uji sebanyak 10 buah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Nugroho (2013) *Bacillus Subtilis* sebagai penambahan variabel kedalam material *pulverized fly ash*. Pengujian dilakukan pada umur 3, 7, dan 28 hari dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm, sedangkan untuk kuat lentur mortar menggunakan ukuran 60 x 60 x 220 mm. Perendaman dilakukan dengan menggunakan air biasa dan menggunakan rendaman larutan urea 5%, kalsium asetat 1%.

Rochani (2015) menggunakan bahan campuran batu apung dan *Bacillus Subtilis* yang dimasukkan dalam mikrokapsul. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan ukuran 5 x 5 x 5 cm, untuk pengujian kuat lentur menggunakan ukuran 4 x 4 x 16 cm. Masing-masing sebanyak 29 sampel diuji pada hari ke 28. Media bakteri digunakan yaitu hidrogel dengan diameter butiran 2mm; 3mm; 4 mm.

Menurut Wicaksono (2016) penambahan *Bacillus Subtilis* sebanyak 3%, 5%, dan 7% dari presentase berat pasir masing-masing benda uji. Penambahan hidrogel bakteri *Bacillus Subtilis* memakai variasi diameter $\varnothing 2$, $\varnothing 3$, dan $\varnothing 4$ mm. Pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Penelitian tahap I berusia 0, 7, dan 60 hari. Sedangkan tahap II berusia 0, 7, 14, 28, dan 360 hari.

Setiadi (2016) *Bacillus Subtilis* sebesar 3%, 5%, dan 7% dari berat sampel pasir.

Benda uji berupa plat rigid memiliki ukuran 29,5 x 21,5 x 2 cm. Perendaman benda uji selama 30 hari.

Tabel 1 Pengujian kuat lentur beton murni (Setiadi, 2016)

Kontrol Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Penurunan (kN)
I	1,01	3,2
II	1,12	2,53
III	0,98	2,89
Rata-rat	1,04	2,87

Tabel 2 Pengujian kuat lentur beton bakteri (Setiadi, 2016)

% Butiran	Beban Maksimum (kN)	Penurunan (kN)
3%	1,19	3,08
5%	1,76	4,6
7%	1,14	3,71

III. LANDASAN TEORI

A. Beton

Bahan yang tersusun dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Pada umumnya beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%. Beton memiliki kriteria tahan lama, dan tahan aus (Mulyono, 2003).

B. Bahan Penyusun Mortar

1. Semen *Portland*

Semen *Portland* merupakan semen yang bersifat hidrolis. Terdiri dari silikat-silikat kalsium. Semen digunakan sebagai bahan ikat yang dipakai pada proyek pembangunan (Tjokrodimuljo, 2007).

2. Agregat

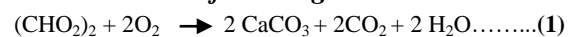
Menurut Tjokrodimuljo (2007) Agregat merupakan butiran alami yang digunakan sebagai pengisi pada campuran beton atau mortar. Pada umumnya agregat digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu:

- Batu untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
- Kerikil dengan ukuran butiran 5 mm dan 40 mm.
- Pasir dengan butiran 0,15 mm dan 5 mm.

3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Apabila air yang digunakan dalam proses pencampuran beton maka akan menimbulkan banyaknya gelembung setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mengakibatkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya (Mulyono, 2003).

C. *Self Healing Concrete*



Cara kerja *Self Healing Concrete* yaitu bakteri mampu mengubah nutrisi organik sehingga terjadi pengendapan kalsium. Saat retak dan dapat menutup celah-celah keretakan pada beton.

D. Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus Subtilis adalah bakteri yang mampu membentuk endospore yang bersifat melindungi diri dan dapat bertahan pada kondisi lingkungan (Nakano & Zuber, 1998). Menurut Junaidi (2010) dapat hidup dalam jumlah sel yang besar dan merupakan bakteri yang bersifat positif.

E. Kuat Tekan Beton

Merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan beton pada umur 28 hari yang telah direncanakan (Mulyono, 2004).

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

- P = Gaya maksimum (N)
- A = Luas Penampang yang telah diberi tekanan (mm^2)

f_c' = Kuat tekan (N/mm²)

F. Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI 4431:2011 kuat lentur merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus, benda uji sampai patah

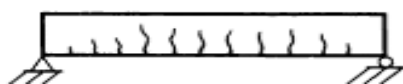
$$(\sigma_1) = \frac{(P \times l)}{(b \times h^2)} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan:

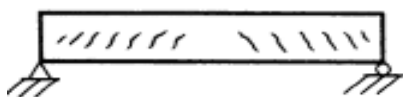
- σ_1 = Kuat lentur (MPa)
- p = Beban tertinggi pada mesin uji (kg)
- l = jarak bentang
- b = lebar tampang lintang arah horizontal (mm)
- h = lebar tampang lintang arah vertikal (mm)

G. Pola Keretakan Beton Bertulang

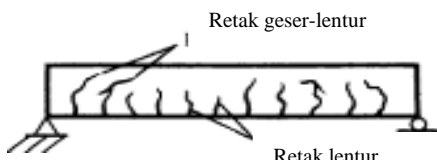
- a. Retak lentur merupakan retak vertikal dari sisi tarik balok dan mengarah sampt pada sumbu netralnya.
- b. Retak miring karena geser terjadi pada bagian web balok beton bertulang baik retak bebas atau perpanjangan retak lentur.
- c. Retak geser lentur terjadi pada balok pra tegang dan non prategang.



(a) Retak lentur



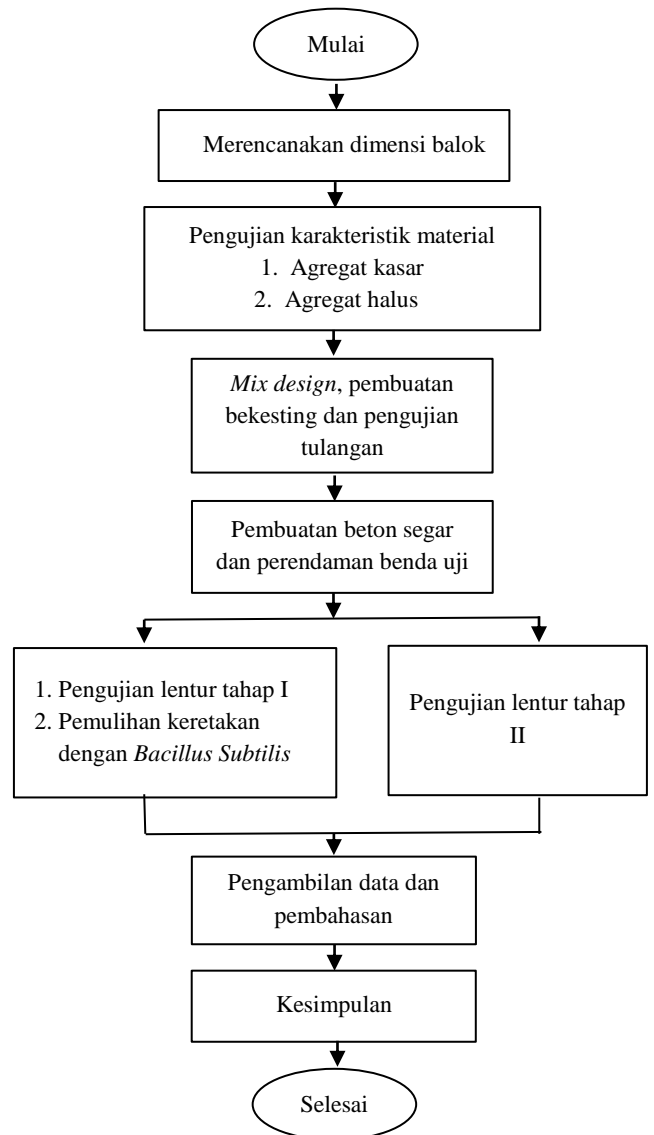
(b) Retak geser-web



(c) Retak geser-lentur

IV. METODE PENELITIAN

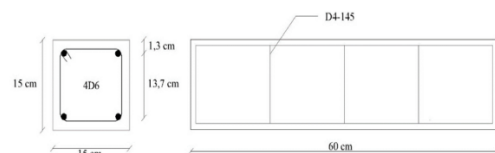
A. Pelaksanaan Penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian

B. Desain Pembuatan Bekesting

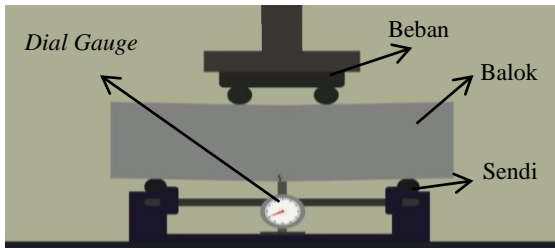
Desain jarak sengkang dengan selimut beton dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain jarak sengkang dengan selimut

C. Setting Up Pengujian Kuat Lentur 2D

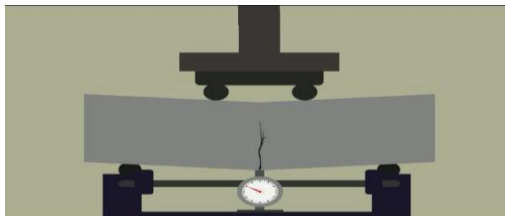
Setting Up kuat lentur dengan benda uji balok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Setting Up Pengujian Kuat Lentur 2D

D. Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian kuat lentur tahap I dapat dilihat pada Gambar 4 dan kuat lentur tahap II dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Pengujian kuat lentur tahap I



Gambar 5. Pengujian kuat lentur tahap II

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Pendahuluan

1. Pengujian agregat halus

Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis pengujian	Interval spesifikasi	Hasil pengujian
1	Kadar air	2 %	1,75 %
2	Berat satuan	1,5-1,8 gr/cm ³	1,26 %

3	Kadar lumpur	5 %	1,39 %
4	Gradasi butiran	Daerah 1 - 4	MHB 3,67 Daerah 2 (agak kasar)
5	Berat jenis	2,5-2,7	2,39

2. Pengujian agregat kasar

Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar

No	Jenis pengujian	Interval spesifikasi	Hasil pengujian
1	Kadar air	2 %	1,33 %
2	Berat satuan	1,5-1,8 gr/cm ³	1,29 %
3	Kadar lumpur	5 %	3,84 %
4	Keausan	40-50%	41,32%
5	Berat jenis	2,3-3,1	2,7

3. Rancangan campuran beton (*Mix design*)

Dari perhitungan perencanaan campuran pada adukan beton dengan metode SK SNI: 03-2834-2002. Rencana kebutuhan tiap 1m³ dapat dilihat Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan bahan susun tiap 1 m³ adukan beton normal

Jenis Bahan	Kebutuhan	Satuan
Air	6,62	Liter
Semen	13,95	Kg
Agregat halus	20,35	Kg
Agregat kasar	35,15	Kg

4. Hasil pengujian *slump*

Menurut PBB1 (1971) benda uji balok memiliki nilai *slump* 7,5 sampai 15 cm.

Pengujian *slump* didapat nilai rata-rata sebesar 9,71 cm.

5. Pengujian kuat tekan

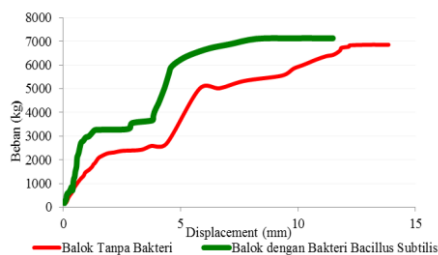
Kuat tekan beton silinder dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh hasil sebesar 21 MPa.

B. Pengujian Utama

1. Hasil perbandingan kuat lentur balok dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil perbandingan kuat lentur balok

Kode balok	Dimensi (mm)	Displacement (mm)	Kuat Lentur (MPa)
Balok normal	600 x 152 x 151	14	11,41
	600 x 152 x 151	13,7	12,37
11,89 MPa			
Balok bakteri	596 x 149 x 149	13,74	12,57
	599 x 150 x 150	9,22	12,46
12,51 MPa			



Gambar 6. Grafik perbandingan kuat lentur balok dengan rentan waktu 28 hari terhadap balok kontrol dan balok *self healing*

Berdasarkan pengujian tahap II (*self healing*) mengalami peningkatan dengan nilai sebesar 12,51 MPa dibandingkan dengan balok normal sebesar 11,89 MPa.

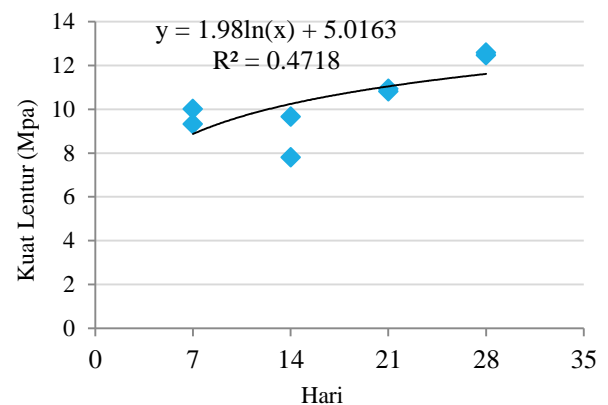
Hasil pengujian kuat lentur berdasarkan rentan waktu dan kuat tekan

Hasil dari pengujian didapat patahan berada 1/3 bentang tengah. Hasil pengujian dengan rentan waktu 7, 14, 21, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 7. Dan hasil peningkatan atau penurunan kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 7. Patahan atau keretakan balok menggunakan perhitungan kuat lentur dengan rumus:

$$(\sigma_1) = \frac{(P \times l)}{(b \times h^2)}$$

Tabel 7. Kuat lentur dan kuat tekan dengan rentan waktu 7, 14, 21 dan 28 hari

Rentan waktu (Hari)	Kuat lentur (MPa)	Kuat tekan (MPa)
7	9,66	31,25
14	8,73	18,08
21	10,87	15,04
28	12,51	12,74



Gambar 7. Grafik regresi

2. Pola Keruntuhan Balok

Hasil pengujian tahap I hanya sampai retak rambut karena beban yang diberikan sangat kecil. Sedangkan tahap II diberikan beban yang besar sehingga mengakibatkan keretakan berada bagian tengah.



Gambar 8. Hasil pengujian tahap II 28 hari
(*Bacillus Subtilis*)



Gambar 9. Hasil pengujian balok normal 28 hari

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a. Pengaruh kuat lentur balok dengan rentan waktu menggunakan bakteri adalah 7 hari 9,66 MPa, 14 hari 8,73 MPa, 21 hari 10,87 MPa dan 28 hari 12,51 MPa
- b. Pengaruh kuat lentur balok normal dan balok dengan perawatan bakteri *Bacillus Subtilis* 7133 kg dengan displacement 11,48 mm. sedangkan balok normal didapat hasil 6858,5 kg dan displacement 13,85 mm.
- c. Jenis keretakan beton bertulang pada peneitian ini adalah retak lentur

2. Saran

- a. Penelitian selanjutnya saat proses pengecoran menggunakan alat vibrator supaya lebih efisien watu dan tenaga. Selain itu, beton yang dihasilkan lebih merata dan padat.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai takaran cairan bakteri *Bacillus Subtilis* yang mempengaruhi kuat lentur balok.
- c. Penelitian selanjutnya dilakukan lebih lanjut mengenai keretakan balok menggunakan *Crack meter*, supaya diperoleh hasil retak bagian dalam dan retakan bagian luar.

- d. Perlu menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*), supaya mengetahui proses reaksi bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap keretakan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Backman et. al., 1994, *Supression of Fusarium wilt of cotton with Bacillus Subtilis hopper box formulation.*, Pp. 83-85. Adelaide, S. Australia
- Bhattacharya Tripana Eet al., *Self Healing Concrete*, Departemen of Chemical Engineering, University of Rhode Island, United State
- [BSN]. Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 4431:2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta
- Claus dan Barkeley, 1986. *Endospore-Forming Rods and Cocci. Dalam: Kried NR dan Jolt (eds) bergeys Manual of Determinative Bacteriology.* Williams and Wikins Baltimore, 529-551
- Diphohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang.* Pt Gramedia Pustaka
- Jonkers Henk. 2010. "*BoConcrete: A novel bio-based material.*". Delf University of Technology, Belanda
- Junaidi, A. et al. 2010. *Perkembangan Terkini Kajian Alelopati*, Jurnal Hayati, 13(2): 79-84
- Mihashi. Et al. 2012, *Development of Engineering Self-Healing and Self-Repairing Concrete*, Journal of Advanced Concrete Technology. Vol 10, pp . 170-184
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton.* Andi Yogyakarta
- Nakano, et. al, 1998, *Nitrogen and Oxygen Regulation of Bacillus Subtilis nsDEF encoding NADH- dependent Nitrite reductase by TnrA and ResDE.* Bacterial, Vol. 180, pp. 5344-5350

- Nugroho, Ananto. 2013, *Pemanfaatan Bakteri (Bacillus Subtilis) Sebagai Agent Penyembuhan Mandiri Retak Mortar Dalam Media Pulvirized*, Tesis, Universitas Gadjah Mada: Tidak diterbitkan
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit KMTS FT UGM
- Ray, Ryan., 2004, *Sherris Medical Microbiology (4thed)*, McGraw Hill, pp: 68-7
- Rochani, Ida. 2015, *Pemanfaatan Batu Apung (Pumice) Lombok Dan Bakteri Bacillus Subtilis Sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Retak Pada Beton*, Tesis, Universitas Gadjah Mada: Tidak diterbitkan
- Setiadi, Faktur Rahman. 2016, *Pemanfaatan Bacillus Subtilis Sebagai Alternatif Inovasi Pada Struktur Plat Beton Rigid Untuk Proses Self Healing Concrete*, Diploma Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada: Tidak diterbitkan
- Timoshenko, S. 1987. *Strenght Of Material*, Kriger Publishing
- Wicaksono, Rochmat, 2016, *Pemanfaatan Bakteri Bacillus Subtilis Dan Bacillus Cereus Untuk Proses Self Healing Concrete Dengan Metode Enkapsulasi Hidrogel Bakteri*, Diploma Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada: Tidak diterbitkan
- Vekariya, dan Pitroda, 2013, *Bacterial Concrete: New Era For Constrruction Industry*. International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 04, pp. 4128-4137