

# **BIO CONCRETE: SELF-HEALING CONCRETE, APLIKASI MIKROORGANISME SEBAGAI SOLUSI PEMELIHARAAN INFRASTRUKTUR RENDAH BIAYA**

Wahyu Herlambang<sup>1</sup>, dan Asih Saraswati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya  
E-mail: wahyu.herlambang-13@fst.unair.ac.id

<sup>2</sup>Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya

**Abstrak.** Infrastruktur penunjang kehidupan saat ini seperti jalan raya, jembatan, serta bangunan banyak yang terbuat dari beton. Perlu dilakukan pemeliharaan berkala terhadap infrastruktur tersebut untuk menjaga agar infrastruktur tersebut tetap layak digunakan. Masalah yang sering terjadi pada infrastruktur berbahan beton ialah terjadinya retak beton. Retak yang terjadi dapat menjadi lebar dan membahayakan jika tidak dilakukan tindakan perbaikan. Perbaikan untuk retak beton membutuhkan biaya yang tinggi. Dilain sisi terdapat inovasi yaitu *bio concrete*, suatu campuran beton dengan mikroorganisme yang dapat membuat beton dapat memperbaiki dirinya sendiri (*self-healing concrete*) ketika terjadi kerusakan seperti retak beton. Mikroorganisme yang umum digunakan pada campuran beton ini ialah *Bacillus* sp. dan *Sporosarcina* sp. Bakteri tersebut dapat mensekresikan senyawa yang nantinya dapat membentuk endapan  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) yang dapat mengisi retak-retak yang timbul pada beton melalui jalur metabolismenya. Pengaplikasian teknologi ini sangat penting dilakukan mengingat inovasi teknologi ini dapat menekan pembiayaan pemeliharaan infrastruktur yang saat ini masih tinggi.

**Kata kunci:** *bacillus* sp, beton, *bio concrete*,  $\text{CaCO}_3$ , *mikroorganisme*

## **I. PENDAHULUAN**

*Concrete* atau beton merupakan materi yang umum digunakan pada konstruksi bangunan dikarenakan kekuatan dan ketahanannya, serta rendah pembiayaan jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya (Khaliq dan Ehsan, 2016). Beton juga merupakan konstruksi yang sangat rentan terhadap terjadinya keretakan. Hal ini dapat berpengaruh terhadap ketahanan dari konstruksi beton, sehingga perbaikan konstruksi perlu dilakukan dan membutuhkan pembiayaan dikarenakan material yang mengalami kerusakan menjadi tidak terpakai (Van Tittelboom dan de Belie, 2013). Disisi lain, tidak dapat dihindari bahwa ketahanan daripada material beton dapat menurun disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya suhu serta kelembaban yang tidak stabil. Hal ini menyebabkan timbulnya retakan pada konstruksi beton. Retakan yang timbul, jika tidak ditangani, dapat menjadi jalan masuknya partikel-partikel yang menyebabkan kerusakan pada beton seiring berjalannya waktu (Tziviloglou *et al.*, 2016).

Biaya perawatan serta perbaikan infrastruktur yang terbuat dari beton membutuhkan biaya yang tinggi.

Pemerintah Inggris menggunakan 45% dari anggaran infrastruktur untuk biaya perawatan agar beton tetap pada struktur aslinya (de Rooij *et al.*, 2013). Telah diketahui bahwa dalam kondisi yang cukup lembab, retak terkadang dapat menutup dengan sendirinya, melalui proses kimia, fisika serta proses mekanikal yang menempati retakan beton. Faktor utama yang berperan dalam hal ini ialah formasi dari  $\text{CaCO}_3$  (Tziviloglou *et al.*, 2016). Dengan adanya kemampuan untuk perbaikan secara mandiri pada konstruksi beton yang mengalami keretakan, beton dengan struktur yang lebih tahan lama dapat dihasilkan, serta pembiayaan untuk perawatan infrastruktur dapat dikurangi (Khaliq dan Ehsan, 2016).

Berdasarkan hal ini, dapat digunakan substitusi dari mikroorganisme yang dapat memproduksi senyawa  $\text{CaCO}_3$ . *Bio concrete* adalah suatu produk yang dapat melakukan perbaikan secara mandiri pada retak beton (*self-healing concrete*) dengan produksi mineral yang dihasilkan oleh aktivitas mikroba didalam beton (Khaliq dan Ehsan, 2016).

*Self-healing concrete* dapat dibedakan menjadi dua, berdasarkan mekanisme perbaikannya, yaitu *autogenous healing* dan *engineered healing*.

*Autogenous healing* merupakan proses yang terjadi di dalam beton akibat reaksi kimiawi dari dalam matriks beton, sedangkan *engineered healing* didapatkan dengan menambahkan bahan kimia maupun biologi yang spesifik kedalam campuran matriks beton. *Engineered healing* dapat dikategorikan menjadi beberapa macam, salah satunya ialah penggunaan bakteri sebagai *agent healing* (Pang *et al.*, 2016).

Penerapan *self-healing* pada retak beton memiliki potensi untuk dikembangkan jika dikaji dari sisi lingkungan, ekonomi serta sosial. Emisi dari gas CO<sub>2</sub> yang biasa dihasilkan dari kegiatan konstruksi bangunan dapat direduksi hingga 50%. Penggunaan *self-healing* juga dapat mengurangi kebutuhan semen pada proses konstruksi beton. *Self-healing concrete* juga dapat menurunkan biaya sebesar Rp 442.725/m<sup>3</sup>, dikarenakan tidak perlu melakukan perbaikan pada beton jika terjadi keretakan (Rochani *et al.*, 2016). Hal ini menjadikan *self-healing concrete* dapat menjadi solusi infrastruktur rendah biaya, baik dalam segi pembangunan maupun pemeliharaan.

Tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk mengetahui aplikasi mikroorganisme pada teknologi *bio concrete* dan mekanismenya pada proses *self-healing* sehingga diperoleh pemahaman tentang solusi pemeliharaan infrastruktur rendah biaya.

## II. PROSES *SELF-HEALING* PADA RETAK BETON

*Self-healing concrete* dapat dibedakan menjadi dua, berdasarkan mekanisme perbaikannya, yaitu *autogenous healing* dan *engineered healing*. *Engineered self-healing* menggunakan aplikasi bakteri umumnya menggunakan teknik enkapsulasi. Hal ini berfungsi untuk melindungi bakteri dari kerusakan saat proses pencampuran dengan beton serta untuk menghindari tingkat basa yang tinggi pada matriks beton. Pada saat terjadi keretakan beton, kapsul yang melindungi bakteri akan pecah dan akan mengaktifkan bakteri sehingga terjadi pengendapan CaCO<sub>3</sub>.

Bakteri yang umum digunakan dalam produksi *bio concrete* ialah kelompok bakteri *Bacillus* sp. dan bakteri *Sporosarcina* sp. Bakteri ini diketahui memiliki aktivitas membentuk enzim urease. Enzim ini berfungsi untuk mengubah urea menjadi karbon dioksida dan ammonium karbonat. Ammonium karbonat inilah yang nantinya akan berikatan dengan ion Ca<sup>2+</sup> yang ada didalam matriks beton dan akan terbentuk endapan CaCO<sub>3</sub> yang akan menutup retak pada beton seperti terlihat pada Gambar 3 (Rochani *et al.*, 2016).

Teknologi *self-healing* dengan menggunakan metode kapsulasi dilakukan dengan mengisolasi agen healing pada kapsul yang berperan sebagai pelindung agen tersebut. Prinsip metode ini adalah, jika terjadi kerusakan pada beton dan memicu kerusakan kapsul pembawa *agent healing*, agen tersebut akan terlepas pada bagian beton yang rusak. Memicu mekanisme *self-healing* karena bereaksi dengan udara (O<sub>2</sub>), kelembaban, dan suhu dengan memanfaatkan komposisi mineral yang terkandung dalam material

semen (Van Tittelboom dan de Belie, 2013).

Prinsip dasar dari pengaplikasian endapan CaCO<sub>3</sub> untuk *self-healing concrete* ialah dilakukan pencampuran antara bakteri dan agen terkait lainnya dengan matriks beton saat proses pengecoran berlangsung. Jika terjadi keretakan, bakteri yang ada di sekitar terjadinya retak akan teraktifkan karena dipengaruhi oleh kelembaban dan adanya O<sub>2</sub> sehingga akan membentuk suatu endapan CaCO<sub>3</sub> di akhir proses menggunakan katalis urease secara hidrolisis yang akan menutup retak pada beton seperti pada Gambar 2 (Wang *et al.*, 2014).

Penggunaan prinsip ini tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan yang harus diperhitungkan. Penggunaan *bio-concrete* sangat berpengaruh secara signifikan pada kekuatan beton; memiliki permeabilitas yang lebih rendah daripada beton konvensional; lebih resisten terhadap perubahan suhu yang fluktuatif; berkurangnya kemungkinan terjadinya korosi; remediasi retakan bisa dilakukan dengan efisien; serta menurunkan biaya pemeliharaan beton itu sendiri. Namun, biaya pembuatan *bio-concrete* ini ± 7-28% lebih mahal daripada pembuatan beton konvensional. Dari segi kesehatan, bakteri yang tumbuh dalam *bio-concrete* tidak baik bagi kesehatan manusia serta atmosfer lingkungan. Oleh sebab itu, penggunaannya masih harus dibatasi (Bashir *et al.*, 2016).

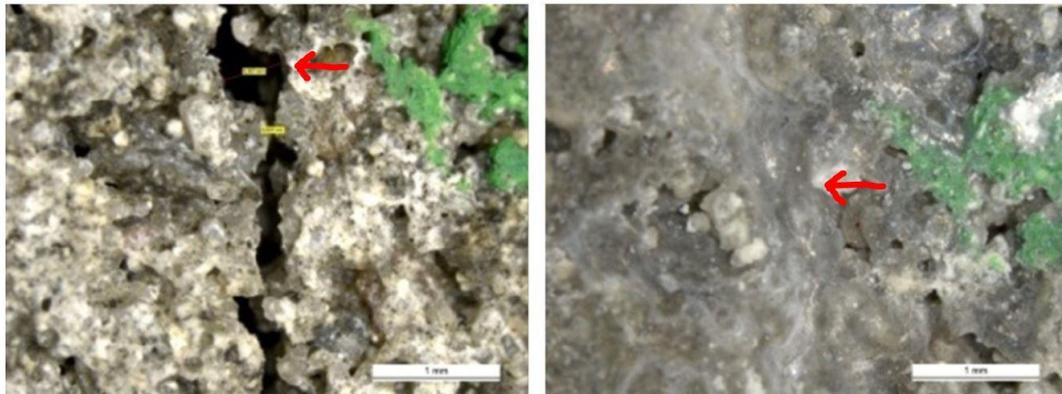
*Self-healing* menjadi salah satu teknologi yang saat ini dibuthkan untuk mengatasi atau mengurangi masalah perbaikan retakan beton. Beberapa metode *self-healing* diperkenalkan sebagai salah satu tindakan preventif sekaligus kuratif pada pemeliharaan struktur beton. Teknik lainnya yaitu *autogenous healing*. *Autogenous healing* efektif pada retakan dengan celah kecil hingga 0,2 mm (Seshagiri Rao, 2013). Proses ini membutuhkan ketersediaan air sebagai salah satu faktor esensial. Dalam hal ini, diketahui bahwa beberapa peneliti mencari kemungkinan untuk mencampurkan *Super absorbent polymers* (SAP) atau hidrogel dalam material semen sebagai pendukung ketersediaan air.

Pendekatan proses *autogenous healing* dilakukan dengan beberapa metode. Diantaranya dengan membatasi pH pada proses pencampuran matriks beton. Proses pencampuran dilakukan pada suasana pH 13 untuk mencegah terjadinya tonjolan pada SAP (Bashir *et al.*, 2016). Rochani *et al.* (2016) mencoba pendekatan dengan mengkapsulasi bakteri menggunakan perlindungan hidrogel. Hasilnya, kadar perbaikan dengan persentase tertinggi dengan persentasi enkapsulasi 7% dan diameter 2-3 mm.

Bashir *et al.* (2016) juga menjelaskan bahwa *self-healing* akan lebih menguntungkan jika dilakukan dengan proses bioremediasi dimana bakteri sebagai agen *healing* menciptakan lingkungan mikro dengan menghasilkan endapan mineral seperti CaCO<sub>3</sub> secara ekstraseluler sebagai produk sampingan dari hasil metabolisme. Kemampuan bakteri untuk mengubah nutrisi organik terlarut menjadi kristal kalsit yang nantinya berfungsi menutup retakan, adalah kunci dari

prinsip kerja teknologi *self-healing*. *Self-healing* yang lebih efektif bisa diperoleh apabila bakteri dan nutrisi yang ditambahkan tidak sampai mengganggu keseimbangan komposisi bahan yang lain. Dalam

kondisi ini, *self-healing* bisa menutup retakan dengan lebar hingga 0,5 mm (Seshagiri Rao, 2013).



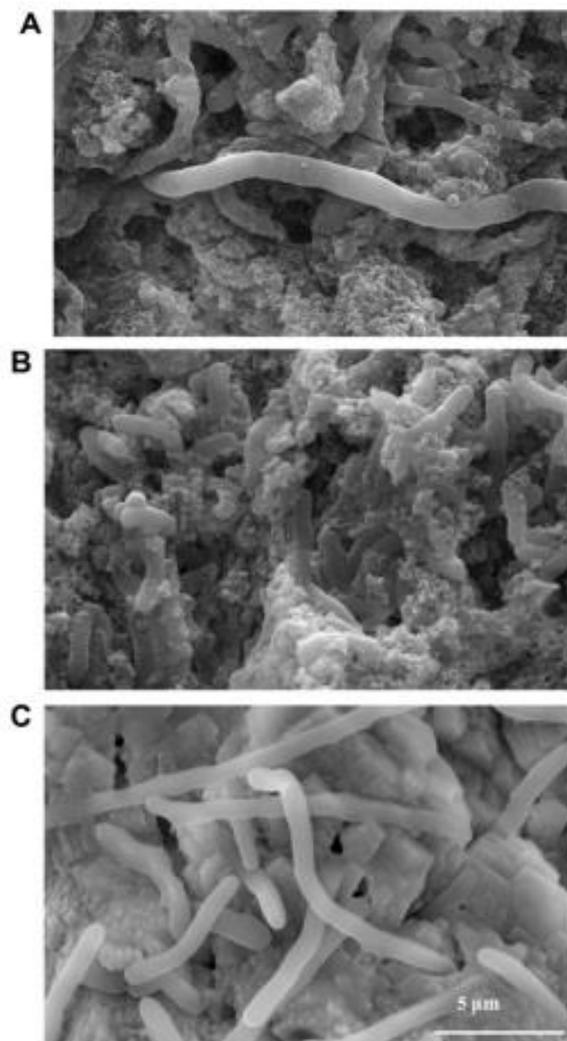
Gambar 1. Retak beton yang telah tertutup dengan baik (Wang *et al.*, 2014)

### III. MEKANISME PEMBENTUKAN $\text{CaCO}_3$ PADA *SELF-HEALING CONCRETE*

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Hyun Jung *et al.* (2016) mengenai pembentukan biomineral mengatakan bahwa pembentukan CCP (*Calcium Carbonat Precipitation*) dengan kadar tinggi dipengaruhi dari aktivitas mikroorganisme serta muncul akibat adanya kontrol biologis, perlakuan biologis maupun induksi secara biologis. Sehingga penting untuk menentukan mikroorganisme mana yang tepat untuk digunakan dalam proses ini. Dibutuhkan bakteri yang tahan pada suasana alkali serta lingkungan dengan kadar garam yang tinggi, kemudian disimpulkan bahwa kelompok bakteri *Bacillus* sp. dan *Sporosarcina* sp. dapat digunakan untuk aplikasi *bio concrete* serta ramah lingkungan jika diaplikasikan di dunia perindustrian. Parameter lingkungan yang digunakan untuk mengkultur bakteri juga berpengaruh terhadap produksi CCP yang dihasilkan oleh bakteri tersebut, seperti parameter suhu serta aerasi yang sesuai.

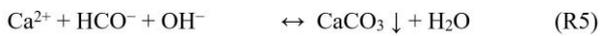
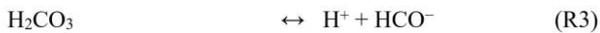
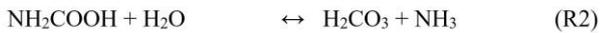
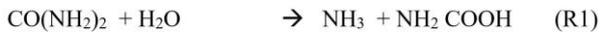
Salah satu jalur biogeokimia *self-healing concrete* melibatkan hidrolisis mikrobial urea yang dikatalis oleh enzim urease. Sel bakteri penghasil urease menempel pada permukaan partikel beton. Bakteri tersebut kemudian menyebabkan gradiasi mikro pada konsentrasi karbonat dan pH karena adanya proses hidrolisis urea oleh urease dari bakteri tersebut (Ivanov *et al.*, 2015).

Proses hidrolisis urea terdiri dari beberapa reaksi. Urea awalnya dihidrolisis menjadi karbamat dan amonia (Reaksi R1; Varalakshmi and Devi, 2014). Karbamat kemudian dihidrolisis secara spontan untuk menghasilkan asam karbonat dan amonia (Reaksi R2), yang kemudian menjalani hidrolisis sesuai dengan Reaksi (R3) dan (R4), dengan konstanta kesetimbangan masing-masing akan terjadi peningkatan pH tanah.



Gambar 2. Citra SEM (perbesaran 10.000x) kristal kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang diproduksi pada medium urea- $\text{CaCl}_2$  (Hyun Jung *et al.*, 2016)

Dengan adanya kalsium terlarut, proses ini dapat menyebabkan pengendapan  $\text{CaCO}_3$  (Reaksi R5), dengan ketentuan bahwa medium tersebut jenuh dengan  $\text{CaCO}_3$  (Gat *et al.*, 2014).



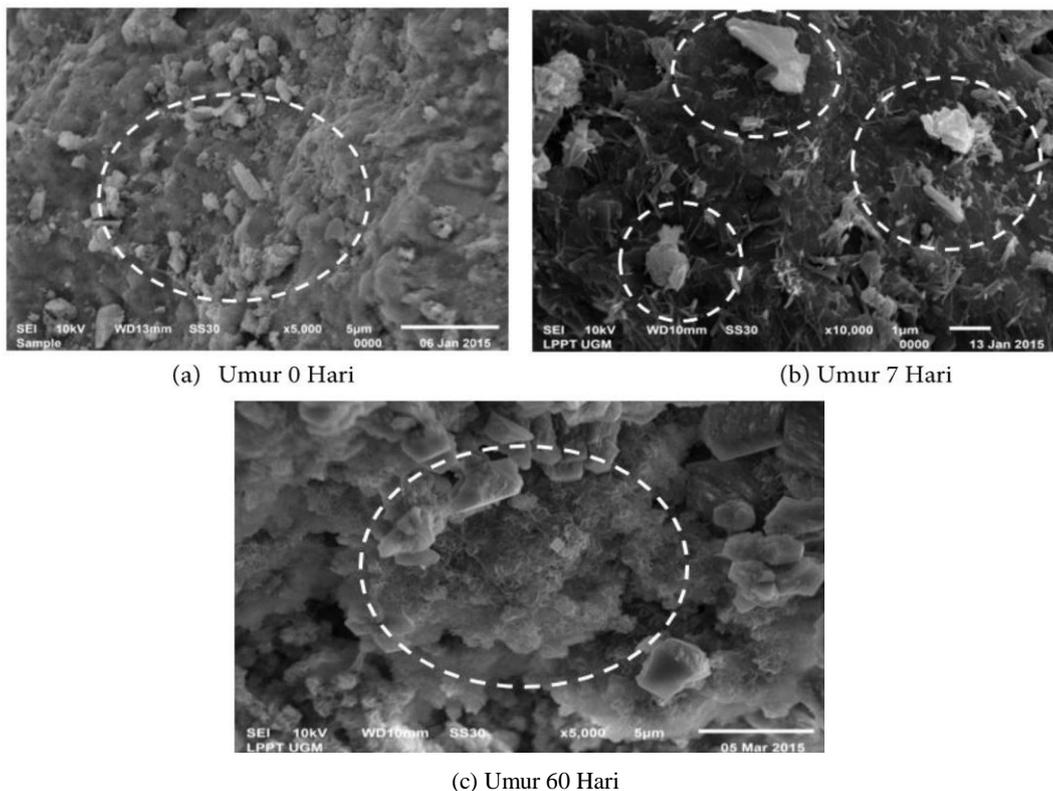
*Bacillus* sp memproduksi kristal kalsium karbonat apabila dikultur pada media yang mengandung  $\text{Ca}^{2+}$  seperti  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ . Dalam gugus kalsit *Bacillus* sp., proses pengendapan  $\text{CaCO}_3$  melibatkan pertukaran ion, dan pH. Urease sebagai katalisator menghidrolisis urea untuk memproduksi amonia dan karbon dioksida. Karena dinding sel bakteri bermuatan negatif, bakteri menarik kation dari lingkungan, termasuk  $\text{Ca}^{2+}$  untuk disimpan di permukaan sel mereka. (Verma *et al.*, 2015).

Dalam lingkungan eksperimental peneliti, spesies bakteri non-ureolitik menunjukkan tingkat pertumbuhan yang jauh lebih tinggi dan menghasilkan kepadatan bakteri yang lebih tinggi. Pertumbuhan yang relatif tinggi ini menyebabkan penurunan pH medium presipitasi, serta menurunkan konsentrasi ion karbonat. Meskipun demikian, kehadiran bakteri non-ureolitik meningkatkan tingkat presipitasi  $\text{CaCO}_3$ . Dengan

demikian penulis menyimpulkan bahwa bakteri non-ureolitik *Bacillus* sp., dapat memfasilitasi presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dengan menyediakan situs nukleasi tambahan. (Gat *et al.* 2014).

Hyun Jung (2016) menjelaskan bahwa induksi endapan kalsium karbonat (CCP: *Calcium Carbonat Precipitation*) secara mikrobiologis merupakan proses yang panjang namun ramah lingkungan dalam produksi *self-healing concrete*, bioremediasi serta proses penyimpanan  $\text{CO}_2$  dalam jangka waktu yang panjang. Penulis juga menjelaskan bahwa ada dua kelompok bakteri yang dapat menghasilkan CCP yaitu kelompok *Bacillus* dan *Sporosarcina*. CCP yang dipresipitasi oleh kedua kelompok bakteri tersebut dianalisis secara morfologi menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) (Gambar 2). Penulis juga mengkonfirmasi bahwa CCP yang dihasilkan merupakan produk biomineral yang dihasilkan secara ekstraseluler.

Peran dari *Bacillus* sp. dalam proses presipitasi kalsit sebagian besar masih sangat kompleks. Mineralisasi terjadi sebagai produk sampingan mikroba metabolisme yang melibatkan jalur autotropik yang menginduksi  $\text{CO}_2$  atau adanya peningkatan  $\text{CO}_3^{2-}$  pada media melalui jalur heterotrofik. Hipotesis lain menyebutkan bahwa presipitasi  $\text{CaCO}_3$  dikendalikan oleh metabolisme kalsium intraseluler sebagai ganti proses perubahan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Nukleasi kalsium karbonat juga terjadi pada dinding sel akibat pertukaran ion melalui membran sel mengikuti beberapa mekanisme yang masih kurang diketahui (Verma *et al.*, 2015).



Gambar 3. Pencitraan SEM pada retak beton yang terbentuk  $\text{CaCO}_3$  pada berbagai variasi waktu (Rochani *et al.*, 2016)

#### IV. BIO CONCRETE SEBAGAI INFRASTRUKTUR RENDAH BIAYA

Biaya perawatan serta perbaikan infrastruktur yang terbuat dari beton membutuhkan biaya yang tinggi. Pemerintah Inggris menggunakan 45% dari anggaran infrastruktur untuk biaya perawatan agar beton tetap pada struktur aslinya (de Rooij *et al.*, 2013).

Penggunaan *self-healing* juga dapat mengurangi kebutuhan semen pada proses konstruksi beton. Pada proses pembuatan beton biasa, biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 2.802.725/m<sup>3</sup>, sementara pada beton *self-healing* hanya menghabiskan biaya Rp 2.359.295/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan, penggunaan *self-healing concrete* dapat menurunkan biaya sebesar Rp 442.725/m<sup>3</sup>, dikarenakan tidak perlu melakukan perbaikan pada beton jika terjadi keretakan serta menurunkan penggunaan semen pada konstruksi matriks beton (Rochani *et al.*, 2016).

Saat ini banyak biaya yang dikeluarkan akibat dari kualitas beton maupun jalan yang rendah dan tidak tahan lama, serta dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Di Eropa, 50% anggaran yang dialokasikan untuk konstruksi dihabiskan untuk pemeliharaan dan perbaikan infrastruktur yang ada. Di Amerika, rata-rata biaya pemeliharaan tiap jembatan adalah sebesar USD 5,2 miliar. Sedangkan dari segi lingkungan, kerugian yang diakibatkan kemacetan yang terjadi akibat perbaikan yang dilakukan pada infrastruktur yang rusak mencapai lebih dari 10 kali lipat dari biaya perbaikan (Schlangen dan Sangadji, 2013). Dari sini terlihat bahwa penggunaan *self-healing concrete* dapat menurunkan pembiayaan pada infrastruktur, baik dalam segi pemeliharaan maupun pada segi konstruksi awal. Sehingga pengaplikasian teknologi sangat penting untuk dilakukan.

#### V. PENUTUP

Dari *review* mengenai *bio concrete* ini dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian *bio concrete* merupakan solusi dari permasalahan infrastruktur yang membutuhkan pembiayaan yang tinggi. disisi lain penggunaan material ini juga ramah lingkungan. Kedepannya perlu dilakukan penelitian lebih dalam mengenai teknik-teknik yang lebih baik pada proses pembuatan *bio concrete*. Hal ini dikarenakan masih terdapat kelemahan pada teknik pembuatan yang sudah ada saat ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Bashir, J.; Kathwari, I.; Twary, A.; & Singh, K., 2016, "Bio Concrete – The Self-healing Concrete", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9, hlm. 1-5.

de Rooij, M.R.; Schlangen, E.; & Joseph, C., 2013, "Introduction", dalam de Rooij, M.R.; Van Tittelboom, K.; de Belie, N.; & Schlangen, E. (Editor), *Self-healing Phenomena in Cement-Based Materials*, hlm. 1-17, New York: Springer.

Gat, D., Tsesarsky, M., Shamir, D., & Ronen Z., 2014, "Accelerated Microbial-Induced CaCO<sub>3</sub> Precipitation in a Defined Coculture of Ureolytic and Non-Ureolytic Bacteria", *Biogeosciences*, Vol. 11, hlm. 2561–2569.

Hyun Jung, K.; Hyo Jung, E.; Chulwoo, P.; Jaejoon, J.; Bora, S.; Wook, K.; Namhyun, C.; In-Geol, C.; & Woojun, P., 2016, "Calcium Carbonate Precipitation by *Bacillus* and *Sporosarcina* Strains Isolated from Concrete and Analysis of the Bacterial Community of Concrete", *J. Microbiol. Biotechnol*, Vol. 23 No. 6, hlm. 540-548.

Ivanov, V.; Chu, J.; & Stabnikov, V., 2015, "Basics of Construction Microbial Biotechnology", dalam Pacheco Torgal, F.; Labrincha, J. A.; Diamanti, M. V.; Yu, C. P.; & Lee, H. K. (Editor), *Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*, hlm. 21-56, New York: Springer.

Khaliq, W. & Ehsan, M. B., 2016, "Crack Healing in Concrete Using Various Bio Influence Self-healing Techniques", *Construction and Building Materials*, Vol. 102, hlm. 349-357.

Rochani, I.; Prasetyo, A.; & Kurniawan, A., 2016, "Pemanfaatan Batu Apung (*Pumice*) sebagai Agent Perbaikan Kerusakan Retak pada Beton", *Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 30 No. 1, hlm. 49-57.

Schlangen, E. & Sangadji S., 2013, "Addressing Infrastructure Durability and Sustainability by Self Healing Mechanisms - Recent Advances in Self Healing Concrete and Asphalt", *Procedia Engineering*, Vol. 54, hlm. 39-57.

Seshagiri Rao, M. V.; Reddy, V. S.; Hafsa, P. M.; Veena, P.; & Ausha, P., 2013, "Bioengineered Concrete – A Sustainable Self-healing Construction Material", *Research Journal of Engineering Science*, Vol. 2 No. 6, hlm. 45-51.

Tziviloglou, E.; Wiktor, V.; Jonkers, H. M.; & Schlangen, E., 2016, "Bacteria-based Self-Healing Concrete to Increase Liquid Tightness", *Construction and Building Materials*, Vol. 122, hlm. 118-125.

Van Tittelboom, K. & de Belie, N., 2013, "Self-Healing in Cementitious Materials-A Review", *Materials*, Vol. 6, hlm. 2182-2217.

Varalakshmi & Devi, A., 2014, "Isolation and Characterization of Urease Utilizing Bacteria to Produce Biocement", *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, Vol. 8, hlm. 52-57.

Verma, R. K.; Chaurasia, L.; Bisht, V.; & Thakur, M., 2015, "io-mineralization and Bacterial Carbonate Precipitation in Mortar and Concrete", *Bioscience and Bioengineering*, Vol. 1 No. 1, hlm. 5-11.

Wang, J. Y.; Snoeck, D; Van Vlierberghe, S.; Verstraete, W.; & De Belie, N., 2014, "Application of Hydrogel Encapsulated Carbonate Precipitating Bacteria for Approaching a Realistic Self-healing in Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 68, hlm. 110-119.