Perbandingan Pengaruh Penambahan Bakteri *Bacillus Megaterium* dan *Bacillus Subtilis* sebagai *Self-healing Agent* pada Campuran Beton

Agung Suhud Pangestu[1] dan Alif Sandika[2]

[1,2]Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan , Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Email: [1]agung.suhud.tpjj22@polban.ac.id, [2]alif.sandika.tpjj22@polban.ac.id

Abstract

Conventional concrete often experiences cracks that can cause a decrease in structural strength and environmental resistance. Self-healing concrete technology is present as an innovative solution by utilizing the biological ability of bacteria to produce calcium carbonate deposits that can close cracks. This study aims to compare the effect of using bacillus megaterium bacteria and bacillus subtilis bacteria in concrete as self-healing concrete agents in repairing micro cracks automatically. The comparison was made on concrete with a design quality of 25 Mpa, 35 Mpa, and 45 Mpa, each of which was given bacillus megaterium bacteria or bacillus subtilis bacteria. The parameters analyzed include resistance or increased compressive strength. In theory, concrete with bacteria has the ability to close cracks automatically and maintain its structural strength compared to conventional concrete. This shows the great potential for the application of self-healing concrete technology in increasing the service life of concrete structures and reducing long-term maintenance costs.

Keywords: *concrete, self-healing concrete, bacillus megaterium, bacillus subtilis*

Abstrak

Beton konvensional sering mengalami keretakan yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan struktural dan ketahanan terhadap lingkungan. Teknologi *self healing concrete* hadir sebagai solusi inovatif dengan memanfaatkan kemampuan biologis bakteri untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat yang dapat menutup retakan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh penggunaan bakteri bacillus megaterium dan bakteri bacillus subtilis dalam beton sebagai agen self-healing concrete dalam memperbaiki retak mikro secara otomatis. Perbandingan dilakukan pada beton mutu rencana 25 Mpa, 35 Mpa, dan 45 Mpa yang masing-masing diberi bakteri bacillus megaterium atau bakteri bacillus subtilis. Parameter yang dianalisis meliputi ketahanan atau peningkatan kekuatan tekan. Secara teori, beton dengan bakteri memiliki kemampuan dalam menutup retakan secara otomatis dan mempertahankan kekuatan strukturalnya dibandingkan dengan beton konvensional. Hal tersebut menunjukkan potensi besar penerapan teknologi self-healing concrete dalam meningkatkan umur layanan struktur beton dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang.

Kata kunci: beton, *self-healing concrete, bacillus megaterium, bacillus subtilis.*

1. Pendahuluan

Beton merupakan material yang paling populer digunakan untuk konstruksi suatu bangunan. Umumnya, beton terdiri dari campuran agregatkasar, agregat halus, air, dan semen. Campuran tersebut menghasilkan suatu objek beton yang bersifat kaku dan mampu menahan gaya tekan sampai batas tertentu. Batas kuat tekan yang dimiliki beton tersebut dapat dicapai dengan mengatur komposisi campuran beton. Keuntungan dari pengggunaan beton sebagai material konstruksi ini adalah beton dapat dibentuk dan direncanakan kekuatannya sesuai dengan kebutuhan. Kekuatan rencana beton dapat dicapai 28 hari setelah campuran beton dibuat.

Kenyatannya, nilai kuat tekan beton dapat saja tidak sesuai dengan nilai kuat tekan rencananya. Ketidaksesuaian tersebut dapat disebabkan oleh menurunnya kapasitas kuat tekan yang dimiliki oleh beton. Penurunan tersebut satu di antaranya dapat disebabkan oleh keretakan yang muncul pada beton. Menurut buku: [1] keretakan beton merupakan kondisi pecah pada beton yang membentuk garis-garis panjang yang tak teratur dan sempit. Dalam jurnal: [2] disebutkan bahwa apabila retakan tak kunjung ditutup, air atau benda asing lainnya dapat masuk dan mengakibatkan kerugian yang lebih, yaitu kerusakan struktur beton secara menyeluruh.

Keretakan pada beton selalu menjadi masalah sebab dalam prakteknya memang sulit untuk dihindari. Keretakan dapat disebabkan oleh kesalahan dalam proses curing (perawatan beton sebelum beton mencapai suai 28 hari), pemberian beban yang melebihi kapasitanya, atau faktor cuaca [2]. Mengetahui permasalahan tersebut, berkembang berbagai penelitian yang pada intinya menghasilkan suatu jenis beton yang dapat memulihkan dirinya sendiri dari keretakan (menutup keretakan tanpa tindakan tambahan oleh manusia. Inovasi tersebut dinamakan *self-healing concrete*. Berkembang pula metode untuk menghasilkan self-healing concrete. Satu di antaranya dengan metode penambahan suatu bahan ke dalam campuran beton. Bahan tambah tersebut dinamakan *self-healing agent. Self-healing agent* yang digunakan dapat berbentuk produk kimia ataupun mikroorganisme. Dalam berbagai penelitian, disebut bahwa self-healing agent yang berasal dari produk kimia tidak efektif untuk digunakan, karena dapat mengganggu kestabilan lingkungan. Kemudian, berkembang penelitian self healing agent berupa fungi (jamur) yang kesimpulannya mengatakan bahwa beton adalah lingkungan yang ekstrem bagi pertumbuhan jamur. Bersamaan dengan penelitian *self-healing agent* berupa jamur, berkembang juga self healing agent berupa bakteri. Dalam jurnal: [3] dikatakan bahwa bakteri pada kelompok Bacillus sp. dan Sporosarcina sp. yang paling umum digunakan sebagai self-healing agent.

Mengetahui bahwa keretakan beton dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton (kapasitas beton dalam menerima beban) dan beragamnya jenis bakteri yang dapat digunakan sebagai *self-healing agent* untuk menghasilkan self-healing concrete, penulis tertarik untuk mengukur pengaruh penambahan keragaman bakteri tersebut. Karena memang sudah terbukti dapat digunakan sebagai *self-healing agent*, penulis meninjau pada sisi pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan yang dimiliki beton sendiri. Subjek yang menjadi batasan adalah dua jenis bakteri, yaitu bakteri bacillus megaterium dan bakteri bacillus subtilis. Setelah mengukur, penulis membandingkan pengaruh dari penambahan masing-masing bakteri tersebut agar diperoleh kesimpulan berupa bakteri mana yang lebih efektif digunakan.

Self-Healing Concrete

Self-healing concrete adalah jenis beton inovatif yang memiliki kemampuan memperbaiki keretakan secara otomatis. Mekanisme penyembuhan ini dapat terjadi melalui reaksi kimia, penggunaan mikroorganisme, atau bahan tambahan kapsul. Dalam proses healing pada struktur beton didukung oleh adanya *self-healing agent* yang bereaksi dengan oksigen dan air saat terjadinya retakan, sehingga menghasilkan suatu senyawa kalsium karbonat (CaCO3) yang berperan dalam proses perbaikan beton. Uniknya *self-healing concrete* ini, ketika bakteri sudah aktif dan celah retak sudah tertutup sempurna karena pembentukan kalsium karbonat (kapur), bakteri akan kembali lagi memasuki proses pasif dan akan aktif kembali ketika terjadi retakan di permukaan beton.

Mekanisme Pemulihan *Self-Healing Concrete*

Kalsium karbonat merupakan zat yang biasanya terkandung dalam bebatuan. Dengan sifatnya yang dapat mengeras, kalsium karbonat dapat dimanfaatkan melalui proses tertentu untuk mengisi celah atau keretakan pada beton. Kalsium karbonat dapat dihasilkan dari suatu reaksi kimia. Maka, bakteri seperti *bacillus megaterium* dan *bacillus subtilis* sebagai bakteri yang mampu menghasilkan kalsium karbonatdapat dimanfaatkan sebagai *self-healing agent*. Dalam satu di antara beberapa penelitian dalam jurnal: [4] mengenai pembentukan biomineral, disebut bahwa proses pengendapan kalsium karbonat atau 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.

Parameter lingkungan yang digunakan juga berpengaruh terhadap proses CCP yang dihasilkan oleh bakteri tersebut. Parameter tersebut seperti parameter suhu serta aerasi yang sesuai. Menurut jurnal: [5] satu di antara jalur *biogeokimia self-healing conctrete* 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. Menurut jurnal: [6] proses hidrolisis urea terdiri dari beberapa reaksi. Urea awalnya dihidrolisis menjadi karbamat dan amonia (Reaksi 1). Jurnal: [7] mengatakan bahwa karbamat kemudian dihidrolisis secara spontan untuk menghasilkan asam karbonat dan amonia (Reaksi 2), yang kemudian mengalami dua kali hidrolisisasi lagi (Reaksi 3 & 4) yang kemudian dengan konstanta kesetimbangan masing-masing akan terjadi peningkatan pH tanah. Adanya kalsium terlarut menyebabkan pengendapan CaCO3 (Reaksi R5), dengan ketentuan bahwa medium tersebut jenuh dengan CaCO3.

Bakteri *Bacillus Megaterium*

Bacillus megaterium adalah salah satu jenis bakteri dengan bentuk batang. Secara penamaan, Bacillus megaterium adalah latin untuk binatang besar karena merupakan bakteri yang sangat besar, ukurannya sekitar 100 kali lebih besar bakteri E. coli. Karena ukurannya yang besar, bakteri ini sering dipakai untuk menjadi objek penelitian mulai tahun 1950-an.

Mikroorganisme bakteri ini mampu menghasilkan berbagai macam mineral seperti karbonat, sulfida, silikat, dan posfat. Hal ini membuktikan bahwa bakteri dapat digunakan sebagai self-healing agent karena dapat menghasilkan zat kapur/kalsium karbonat (CaCO3) yang berperan penting dalam proses perbaikan beton. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa bakteri dengan genus bacillus mampu memperbaiki keretakan pada beton, salah satunya bacillus megaterium. Hal ini disebabkan karena bakteri tersebut dapat bertahan pada lingkungan ekstrem dengan kondisi pH tinggi.

Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus subtilis adalah satu di antara beberapa jenis bakteri gram positif. Bakteri ini berbentuk batang yang berukuran besar dalam jenisnya. Panjangnya antara 2-3 µ dan lebar antara 0,7-0,8 µ . Bakteri ini membentuk rantai, berspora, dan sifatnya aerob.

Bakteri bacillus subtilis dapat tumbuh sampai rentang suhu 45-55 ˚C. Minimumnya, bakteri ini tumbuh dalam rentang 5-20 ˚C. Sedangkan, untuk kondisi optimum, bakteri dapat tumbuh dalam rentang sushu 25-37 ˚C. Menurut beberapa penelitian *bacillus subtilis* dapat ditemukan di banyak tempat, seperti air, udara, tanah, saluran pencernaan hewan, dan beberapa bahan pangan.

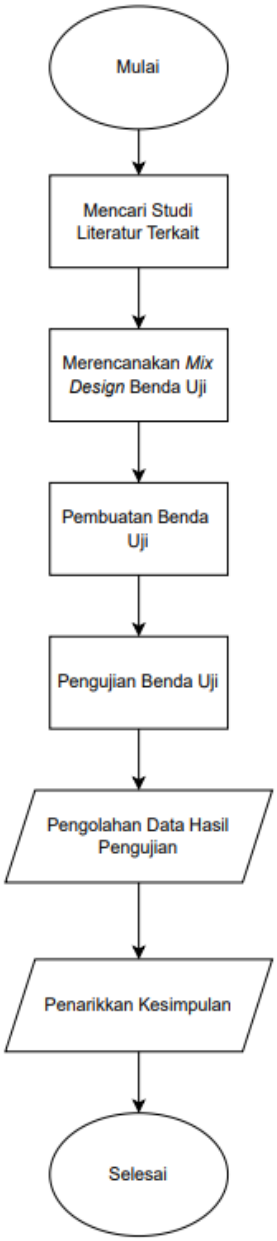
Apabila ditinjau dari sifatnya, bakteri *bacillus subtilis* merupakan bakteri saprofit dan bakteri tanah yang memberikan kontribusi pada siklus nutrisi karena kemampuannya untuk menghasilkan berbagai jenis enzim. Dalam industri, bakteri ini sudah banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan protase, amilase, antibiotik, dan bahan kimia lainnya. Beberapa penelitian menyebutkan bakteri ini dapat menyebabkan beberapa penyakit yang membuat fungsi imun seseorang terganggu. Contohnya seperti penyakit meningitis dan gastroentritis akut.

2. Metode

Penelitian ini seharusnya dilakukan secara langsung untuk bisa memperoleh data yang dapat mencapai tujuan penelitian. Penelitian dilakukan dengan menggunakan beton berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan panjang 300 mmsebagai benda uji. Benda uji beton tersebut dibuat dengan perencanaan komposisi campuran sesuai mutu yang ingin dicapai. Dengan komposisi yang sama, dibuat benda uji yang tanpa diberi penambahan bakteri sehingga dapat diketahui berapa mutu rencana, mutu aktual benda uji yang tidak diberi penambahan bakteri, dan mutu benda uji yang

ISSN (*Online*) 2747-0733

diberi penambahan bakteri. Dengan ketiga hal tersebut, proses perbandingan yang setara dapat dilakukan. Secara umum, alur penelitian dapat dilihat dalam gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam prakteknya, penulis tidak secara nyata melakukan pengujian kangsung. Penulis memanfaatkan studi literatur terdahulu sebagai sumber data. Untuk mencapai tujuan yang ditetapkan oleh penulis, dilakukanlah beberapa langkah sebagai berikut: (1) Menentukan variabel perbandingan, (2) Pengumpulan data melalui studi literatur yang berhubungan dengan variabel perbandingan yang digunakan oleh penulis, (3) Menganalisis hasil dan pembahasan dari beberapa studi literatur terpilih, (4) Melakukan pengolahan/pembahasan dengan cara mengkorelasikan hasil analisis penulis terhadap studi literatur terpilih dengan variabel-variabel perbandingan yang itentukan penulis, (5) Menarik suatu kesimpulan dari pengolahan/pembahasan data yang dilakukan.

Setelah dilakukan telaah studi literatur terdahulu, penulis memutuskan menggunakan dua sumber data utama sebagai berikut: (1) Jurnal: [8] dengan judul “Pengaruh Bakteri Bacillus Megaterium

sebagai Self-Healing Agent pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi", (2) Jurnal: [9] dengan judul "Bakteri Bacillus Subtilis sebagai Agen Self-healing Concrete dengan Persentase dan Nilai Ph". Dalam proses pengolahan/pembahasan, ditemukan keterbatasan data/informasi. Dari keterbatasan tersebut, dibuat suatu asumsi yang logis agar tujuan penulis masih dapat tercapai. Namun, asumsi tersebut mesti diuji pula kebenarannya.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada jurnal: dibahas pengaruh penambahan 2% bakteri ke dalam campuran beton dengan mutu rencana 45 Mpa. Dari penambahan tersebut, diperoleh mutu aktual sebesar 62,199 Mpa. Mutu aktual diperoleh dari pengujian setelah benda uji mencapai usia 28 hari. Sebagai pembanding, dibuat pula benda uji dengan komposisi campuran yang sama dan tanpa penambahan 2% bakteri. Benda uji tersebut menghasilkan mutu aktual sebesar 55,208 Mpa. Sehingga, diperoleh peningkatan sebesar 6,991 Mpa.

Sementara, dalam jurnal: [9] dibahas pengaruh penambahan variasi persentase 0,5%, 1%, 2%, dan 3% bakteri bacillus subtilis ke dalam campuran beton dengan mutu rencana 25 Mpa. Diperoleh hasil berupa peningkatan mutu pada penambahan 1% bakteri, yaitu menjadi 26,20 Mpa. Pada penambahan persentase lainnya, mutu beton justru mengalami penurunan. Pada penambahan 2% bakteri, mutunya menjadi 24,84 Mpa. Selain itu, sebagai pembanding dibuat pula benda uji dengan komposisi campuran yang sama dan tanpa penambahan bakteri. Benda uji tersebut menghasilkan mutu aktual sebesar 25,18 Mpa. Dengan demikian, diperoleh penurunan sebesar 0,34 Mpa.

Seperti dijelaskan dalam metode, bahwa terdapat keterbatasan data/informasi. Keterbatasan tersebut berupa kesenjangan variabel dari kedua jurnal yang dijadikan sumber. Kesenjangan tersebut adalah sebagai berikut: (1) persentase yang digunakan dalam jurnal: [8] mengacu pada komposisi kebutuhan air, sedangkan dalam jurnal: [9] mengacu pada komposisi agregat halus, (2) Mutu yang digunakan digunakan dalam jurnal: [8] adalah 45 Mpa, sedangkan jurnal: [9] 25 Mpa, (3) Metode rancangan pencampuran yang digunakan dalam jurnal: [8] mengacu pada ACI211-4r 93, sedangkan jurnal: [9] mengacu pada SNI 03-2834-2000. Sementara, belum ada sumber lain yang variabel penelitiannya benar-benar sama, dan penulis tidak melakukan penelitian secara langsung. Oleh karena itu, dengan ketentuan bahwa beton terbuat dari bahan yang bersifat linear elastik, diasumsikan beberapa hal sebagai berikut: (1) Acuan untuk perhitungan persentase penambahan bakteri dianggap tidak jauh berbeda sehingga dapat mengacu pada kebutuhan air atau agregat halus, (2) Pengaruh penambahan bersifat linear, sehingga pengaruh dari mutu berapapun dapat diproyeksikan dengan acuan pengaruh pada mutu 45 Mpa dalam penambahan bakteri *bacillus megaterium*, dan acuan pada mutu 25 Mpa dalam penambahan bakteri *bacillus subtilis*, (3) Baik metode pencampuran ACI211-4r 93 maupun metode SNI 03-2843-2000 menghasilkan campuran yang tidak jauh berbeda.

Dari hail kedua jurnal, selanjurnya dilakukan proyeksi nilai. Dalam jurnal: [8], peningkatan mutu sejumlah 6,991 Mpa. Nilai tersebut dibagi dengan nilai mutu aktual (55,208 Mpa), sehingga diperoleh nilai 0,1266 Mpa. Dengan asumsi setiap 1 Mpa bertambah 0,1266 Mpa, untuk memperoleh proyeksi perubahan mutu mesti mengalikan mutu rencana beton dengan 0,1266 Mpa, lalu ditambah dengan mutu rencana beton. Sedangkan dalam jurnal: [9], penurunan mutu sejumlah 0,34 Mpa, nilai tersebut dibagi dengan nilai mutu aktual (25,18 Mpa) sehingga diperoleh nilai 0,0135 Mpa. Dengan asumsi setiap 1 Mpa berkurang 0,0135 Mpa, untuk memperoleh proyeksi perubahan mutu mesti mengurangi mutu rencana deton dengan hasil kali antara mutu rencana beton dengan nilai 0,0135 Mpa. Dari kedua penguraian tersebut, diperoleh rumus sebagai berikut.

$$Mutu\ pada\ penambahan\ b.megaterium = Mutu\ rencana + (Mutu\ rencana\ x\ 0{,}1266) \quad (1)$$

$$Mutu\ pada\ penambahan\ b.subtilis = Mutu\ rencana - (Mutu\ rencana\ x\ 0{,}0135) \quad (2)$$

Dari penggunaan kedua rumus (1) dan (2) di atas, diperoleh hasil proyeksi dalam tabel 1 dan tabel 2 sebagai berikut.

ISSN (*Online*) 2747-0733

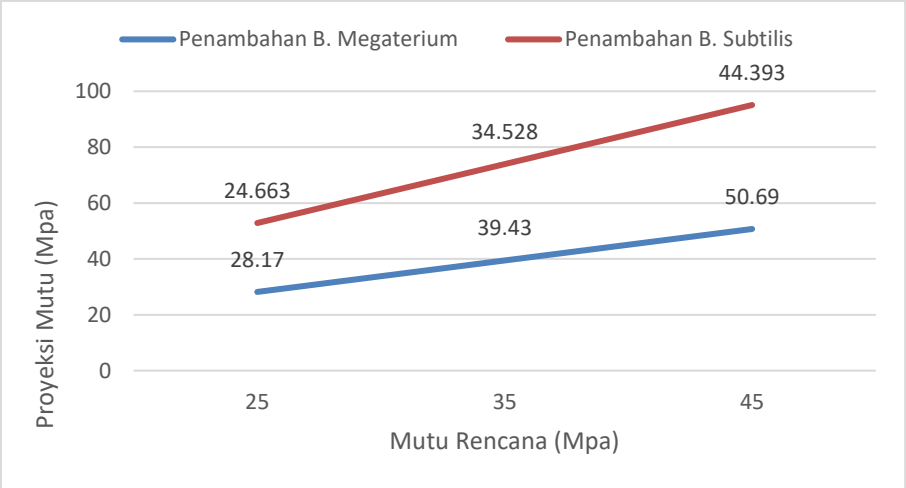
Tabel 1. Proyeksi Perubahan Mutu pada Penambahan Bakteri *Bacillus Megaterium*

Data	Mutu Rencana (Mpa)	Hasil Proyeksi Mutu (Mpa)
1	25	28,17
2	35	39,43
3	45	50,69

Tabel 2. Proyeksi Perubahan Mutu pada Penambahan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Data	Mutu Rencana (Mpa)	Hasil Proyeksi Mutu (Mpa)
1	25	24,663
2	35	34,528
3	45	44,393

Untuk menggambarkan perbedaan perubahan hasil prpyeksi antara penambaahn bakteri bacillus megaterium dan penambahan bakteri bacillus subtilis, dibuat suatu diagram yang dapat dilihat dalam gambar 2 berikut. Dalam diagram, dapat dilihat dua garis yang sama-sama linear. Linearitas tersebut menggambarkan asumsi penulis sebelumnya yang menyatakan bahwa perubahan mutu beton dengan adanya penambahan bakteri bersifat linear.



Gambar 2. Diagram Perbandingan Mutu Beton Hasil Proyeksi

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dengan asumsi-asumsi yang penulis jabarkan, diperoleh poin-poin sebagai berikut: (1) Penambahan bakteri *bacillus megaterium* sebanyak 2% ke dalam campuran beton menyebabkan perubahan berupa peningkatan mutu beton sebanyak 0,1266% per 1 Mpa dari mutu beton aktual yang tidak diberi penambahan bakteri *bacillus megaterium*, (2) Penambahan bakteri *bacillus subtilis* sebanyak 2% ke dalam campuran beton menyebabkan perubahan berupa penurunan mutu beton sebanyak 0,0135% per 1 Mpa dari mutu beton aktual yang tidak diberi penambahan bakteri *bacillus*

subtilis. Dengan demikian disimpulkan bahwa untuk menghasilkan *self-healing concrete*, penambahan 2% bakteri *bacillus megaterium* ke dalam campuran beton lebih efisien daripada penambahan 2% bakteri *bacillus subtilis.*

Referensi

[1] P. S. Mangkoesoebroto, Jenis-jenis Kerusakan pada Struktur Beton Bertulang, Bandung: Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa, Institue Teknologi Bandung, 1998.

[2] D. Alfredo, K. Hutomo, P. Sudjarwo dan J. Buntoro, "Analisa Penyebab dan Metode Perbaikan yang Tepat pada Beton yang Disebabkan oleh Faktor Non-struktural".

[3] W. Herlambang dan A. Saraswati, "Bio Concrete: Self-healing Concrete, Aplikasi Mikroorganisme sebagai Solusi Pemeliharaan Infrastruktur Rendah Biaya," *Prosiding SImposium II - UNIID,* pp. 520-542, 2017.

[4] K. Hyun Jung, E. Hyo Jung, P. Chulwoo, J. Jaejoon, S. Bora, C. Namhyun, C. In-Geol and P. Woojun, "Calcilum Carbonate Precipitation by Bacillus and Sporosarcina Strains Isolated from Concrete and ANalysis of the Bacterial Community of Concrete," *Biotechnol,* vol. 23, pp. 540-548.

[5] V. Ivanov, J. Chu and V. Stabnikov, "Basics of Microbial Biotechnology".

[6] Varalakshmi and A. Dewi, "Isolation and Characterization of Urease Ulitizing Bacteria to produce Biocement," *IOR Journal of Environmental Science, Toxycology and Food Technology,* vol. 8, pp. 52-57, 2014.

[7] D. Gat, M. Tsesarsky, D. Shamir dan Z. Ronen, "Accerelated Microbial-Induced CaCO3 Precipitation in a Defined Coculture of Ureolytic and Non-Ureolytic Bacteria," *Biogeosciences,* vol. 11, pp. 2561-2569, 2014.

[8] L. M. Mauludin, L. Aisyah, L. Fauziah dan S. M. Murhayati, "Pengaruh Bakteri Bacillus Megaterium sebagai Self-healing Agent pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi," *RekaRacana: Jurnal Teknik SIpil,* vol. 9, pp. 228-239, 2023.

[9] F. Gumelar dan R. Nuraini, "Bakteri Bacillus Subtilia sebagai Agen Self Healing Concrete dengan Variasi Persentase dan Nilai PH," *Jurnal Rekayasa,* vol. 10, pp. 142-152, 2020.