

ANALISIS PENGGUNAAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP MORTAR DALAM KEMAMPUAN PULIH MANDIRI (*SELF HEALING*)

Riska Nanda Sintya Dewi¹, Ester Priskasari², Siswi Astuti³

¹²³⁾ Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: riskananda6901@gmail.com

ABSTRACT

Mortar has the advantage of high compressive strength and is easy to work with. Enlargement damage to mortar pores or often referred to as hair cracks (micro crack). The purpose of this research is to analyze the development of self healing in micro cracks with the addition of *Bacillus subtilis* bacteria and mortar supporting components, the optimum percentage of bacterial mixture and the effect of bacterial addition on crack closure. This research was conducted by mixing *bacillus subtilis* bacteria directly during the manufacture of test specimens. This study Changes in micro crack closure to self healing with the addition of *Bacillus subtilis* bacteria and supporting components to micro crack closure of self healing mortar can affect the dry time of mortar. Test objects with dry time (setting time) can occur on day 7 after release from the mold, for the fastest setting time occurs in the composition of 50% bacteria + water, which is 5 days. While the longest setting time occurred in the 75% $-(CO(NH_2)_2)$ component test specimen on day 12. This is because each test bed mixture has a different content. The crack closure process with spray treatment on days 14, 21, and 28 days shows that closure occurs in the 75% complete composition test specimen can be seen visually in Figure 4.33, for test specimens without treatment no one has experienced micro crack closure independently (self healing). The optimum percentage of *Bacillus subtilis* bacteria is in the composition of 75% complete test specimens with many bacteria used is 52.785 with as many additional components as bacteria. The determination of this percentage was chosen because of the results of research and proven by visual observations that the closure of $CaCO_3$ by 75% test specimens with existing fiber cracks.

Keywords: *Micro Crack*, *Self Healing*, *Bacillus Subtilis*, $CaCO_3$

ABSTRAK

Mortar memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang tinggi serta mudah dalam pengerjaannya. Kerusakan pembesaran pada pori mortar atau sering disebut dengan istilah retak rambut (*micro crack*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk analisis perkembangan penutupan mandiri (*self healing*) pada *micro crack* dengan adanya penambahan bakteri *bacillus subtilis* dan komponen pendukungnya mortar, prosentase optimum campuran bakteri dan pengaruh penambahan bakteri terhadap penutupan retak. Penelitian ini dilakukan dengan pencampuran bakteri *bacillus subtilis* secara langsung pada saat pembuatan benda uji. Penelitian ini Perubahan penutupan *micro crack* terhadap *self healing* dengan penambahan Bakteri *basilius subtilis* dan komponen pendukung terhadap *micro crack* penutupan *self healing* mortar dapat mempengaruhi lama kering mortar. Benda uji dengan waktu kering (*setting time*) dapat terjadi pada hari ke 7 *pasca* lepas dari *mold*, untuk *setting time* tercepat terjadi pada komposisi 50% bakteri+ air yaitu 5 hari. Sedangkan *setting time* terlama terjadi pada benda uji komponen 75% $-(CO(NH_2)_2)$ pada hari ke 12. Hal ini disebabkan karena setiap campuran badan uji memiliki kandungan yang berbeda. Proses penutupan retak dengan perlakuan *spray* di hari ke 14, 21, dan 28 hari menunjukkan bahwa terjadi penutupan pada benda uji komposisi 75% lengkap dapat di lihat secara visual pada gambar 4.33, untuk benda uji tanpa perlakuan tidak ada yang mengalami penutupan retak serabut (*micro crack*) secara mandiri (*self healing*). Prosentase optimum bakteri *bacillus subtilis* yaitu berada pada komposisi benda uji 75% lengkap dengan banyak bakteri yang digunakan adalah 52,785 dengan komponen tambahan sama banyak dengan bakteri. Penentuan prosentase ini di pilih karena hasil penelitian dan di buktikan oleh pengamatan visual bahwa penutupan $CaCO_3$ oleh pada benda uji 75% dengan retak serabut yang ada.

Kata kunci: *Micro Crack*, *Self Healing*, *Bacillus Subtilis*, $CaCO_3$

1. PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan berisi tentang permasalahan atau konsep atau hasil penelitian sebelumnya yang merupakan dasar dilakukannya penelitian atau pengkajian teori serta pustaka. Pendahuluan juga hendaknya menjelaskan tentang latar belakang dan mengapa topik penelitian penting untuk dilakukan, perumusan masalah dalam penelitian dan diakhir pendahuluan dijelaskan tentang tujuan penelitian atau penulisan.

Untuk penulisan isi masalah, hendaknya *template* ini digunakan agar memudahkan penulis dalam pengaturan *layout* makalah yang ditulis. Pengelola tidak akan mengedit lagi makalah yang dikirimkan, sehingga diharapkan author mengikuti aturan dalam penulisan ini sebaik-baiknya agar dalam pencetakan menjadi Buku Jurnal menjadi seragam untuk setiap Artikel yang ditulis oleh author. Pengelola hanya akan mengisikan nomor halaman dan heading untuk mengelompokkannya dalam bidang-bidang yang sesuai.

Naskah artikel ditulis pada kertas A4 (21 cm x 29.7 cm), dengan *mirror margin* atas 30 mm, bawah 25 mm, kiri (*inside*) 25 mm dan kanan (*outside*) 20 mm. Isi makalah ditulis dengan huruf Times New Roman berukuran 10 pt dengan jarak 1 spasi, dan diketik menggunakan MS Word. **Makalah dituliskan antara 8-10 halaman.** Pada *template* yang disediakan sudah diatur *mirror margin* untuk nomor halaman genap dan gasal, sehingga penulis tidak perlu mengganti format yang telah ada.

Judul makalah ditulis di tengah menggunakan huruf Times New Roman 12pt bold., seperti pada *template* ini. Semua nama penulis disebutkan tanpa gelar, 10 pt, bold, dengan dipisahkan oleh koma, untuk penulis yang terakhir dipisahkan dengan kata “dan”. Alamat penulis ditulis sesuai dengan afiliasi kampus. Alamat email yang digunakan sebagai korespondensi adalah email penulis 1.

2. JUDUL BAGIAN (SECTION)

Makalah dapat ditulis baik dalam bahasa Indonesia maupun Inggris. Tulisan dalam pokok uraian menggunakan jenis huruf Times New Roman ukuran 10 pt, *justified*, 1 spasi, sebagaimana pada dokumen ini. Penulis diperbolehkan menggunakan huruf jenis lain untuk keperluan khusus misalnya untuk membedakan *source code* suatu program komputer.

Judul dari suatu *section* (*heading* dari *section*) ditulis dengan Times New Roman Capital 11pt, bold. Penomoran dimulai dengan angka 1, 2, 3, dst. Format paragraf *justified*, dan dalam satu halaman diusahakan rata atas dan bawah, sehingga sisa spasi dapat diatur oleh penulis. Penggantian alinea diberi jarak 1 spasi.

Sub bagian (Sub section)

Judul dari *subsection* ditulis dalam Times New Roman 11 pt, bold dan ditulis dengan model *sentence case* (huruf besar hanya pada awal). Judul Sub bagian ditulis tanpa nomor bab.

Nomor halaman, header dan footer

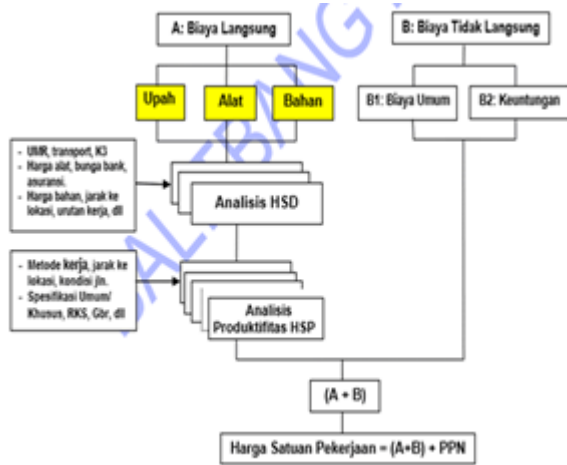
Seluruh makalah yang dikirimkan harap tidak perlu dicantumkan nomor halaman dan *footer*. Bagian ini akan ditambahkan oleh panitia ketika semua makalah yang masuk dijilid.

3. GAMBAR DAN TABEL

Tabel dan gambar diletakkan di tengah halaman. Judul tabel ditulis di atas tabel, sedangkan judul gambar di bawah gambar, keduanya dengan huruf Times New Roman 10 pt. Huruf pada Tabel menggunakan Times New Roman 10 pt 1 spasi. Tabel digambarkan secara sederhana untuk menghindari hasil cetak yang kurang bagus. Setiap tabel dan gambar harus diacu dalam paragraf. Tabel dan Gambar diletakkan sedekat dengan uraian yang mengacu pertama kalinya. Umumnya Tabel dan Gambar diletakkan setelah disebutkan dalam uraian makalah. Penomoran Tabel dan Gambar diurutkan mulai dari nomor 1 dan seterusnya. Contoh tabel dapat dilihat pada Tabel 1. Huruf untuk keterangan pada Gambar hendaknya cukup besar dan jelas sehingga mudah terbaca.

Tabel 1. Indeks Harga Bahan Pokok

Tahun	Indeks Harga Bahan Pokok			
	Nilai	x	x-mean	(x-mean) ²
2000	118	3.39%	8.89	79.03
2001	119	0.84%	11.44	130.87
2002	120	0.83%	11.45	131.10
2003	128	6.25%	6.03	36.36
2004	140	8.57%	3.71	13.76
2005	166	15.66%	-3.38	11.42
2006	205	19.02%	-6.74	45.43
2007	232	11.64%	0.64	0.41
2008	289	19.72%	-7.44	55.35
2009	186	35.64%	-23.36	545.69
2010	191	2.62%	9.66	93.32
2011	198	3.54%	8.74	76.39
2012	207	4.35%	7.93	62.88
2013	214	3.27%	9.01	81.18
2014	121	43.46%	-31.18	972.19
2015	128	5.47%	6.81	46.38
Mean		12.28%	Varian	170.13
			SD	13.04



Gambar 1. Struktur Analisis Harga Satuan Pekerjaan

4. PERSAMAAN

Persamaan ditulis menggunakan Microsoft Equation 3.0. Untuk menggunakan Microsoft Equation 3.0, silakan pilih Tab **Insert** lalu klik **Object** dan pilih **Microsoft Equation 3.0** untuk menuliskan persamaan. Setiap variabel dalam persamaan diberi keterangan saat pertama kali variabel tersebut muncul. Seluruh persamaan dituliskan di tengah, dengan nomor urut persamaan diletakkan rata kanan.

Contoh: Untuk mendapatkan Intensitas dipakai dari persamaan Mononobe:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{0.2}$$

dimana :

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t : Lamanya curah hujan / durasi curah hujan (jam)
- R_{24} : Curah hujan rencana dalam suatu periode ulang, yang nilainya didapat dari tahapan sebelumnya (tahapan analisis frekuensi)

Keterangan :

R_{24} , dapat diartikan sebagai curah hujan dalam 24 jam (mm/hari)

5. KESIMPULAN

Setiap makalah diakhiri dengan kesimpulan, yang merangkum hasil dari makalah yang ditulis.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

Daftar pustaka ditampilkan pada akhir artikel dan diurutkan berdasarkan abjad dari nama belakang pengarang utama. Huruf yang digunakan Times New Roman 10 pt, dengan format *hanging* 8 mm, seperti pada contoh di bawah. Teks atau kalimat dalam pokok pikiran yang merujuk pada rujukan tersebut ditandai dengan nama belakang dari penulis.

Contoh: Sejak tahun 1995 telah diperkenalkan konsep *unified design provision* pada peraturan beton di Amerika (ACI 318-1995) yang mengacu pada tulisan yang diajukan oleh Mast (1992). Dst. Pustaka acuan harus berupa bahan yang dipublikasikan dan atau mudah diakses informasinya oleh umum. Urutan penulisan daftar pustaka sesuai abjad adalah sebagai berikut ini:

Buku

Nama Belakang Penulis, Inisial Nama Depan. (Tahun Publikasi). Judul Buku. Nama Penerbit, Kota Terbit.

Contoh:

Linsley, R.K, M.A. Kohler and J.L.H Paulus. at al. (1976). *Hidrology for Engineering*. Mc Graw – Hill, New York.

Soemarto, CD. (1995). *Hidrologi Teknik*. Penerbit Erlangga Jakarta.

Prosiding:

Nama Belakang Penulis, Inisial Nama Depan. (Tahun Publikasi). “Judul Artikel Jurnal”. Nama Konferensi, Tempat Konferensi, Tanggal Konferensi, nomor halaman

Contoh:

Sudjati, J. J., Tarigan, R. A., dan Tresna, I. B. M. (2015). Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9, Makassar, 7-8 Oktober 2016, 887-892

Jurnal:

Nama Belakang Penulis, Inisial Nama Depan. (Tahun Publikasi). “Judul Artikel Jurnal”. Nama Jurnal, Vol. ; Nomor Jurnal, nomor halaman

Contoh:

Sutikno, T and K Chikamori, (1993).
Evaluation of Philip's Infiltration Equation for Cultivated Upland Terraces in Indonesia, Journal of Hydrology Vol: 143, No.3/1993 page 279 - 295.

Internet:

Nama Belakang Penulis, Inisial Nama Depan. (Tahun Publikasi). "Judul Artikel". Diunduh tanggal

Contoh:

UPI, (2016), *Pedoman Umum Penulisan Artikel*. Diunduh pada 30 Januari 2016. Di www.
<http://ejournal.sps.upi.edu/index.php/edusentris/pages/view/pedomanpenulisan>.

Contoh

EVALUASI KINERJA SIMPANG PADA PERSIMPANGAN BERSINYAL JL. ASEMBAGUS – JL. SERUNI KABUPATEN SITUBONDO

Ari Andriyanto¹, Eding Iskak Imananto², Annur Ma'ruf³
^{1,2,3} *Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*
Email : ariandriyanto99@gmail.com¹

ABSTRACT

The high level of traffic congestion is one of the causes of the high transportation problems in Situbondo Regency. These problems generally occur frequently at several intersections in Situbondo Regency, one of which is at the intersection with the Jl. Asembagus - Jl. Seruni. Congestion that occurs at this intersection often causes queues and delays that are quite high. This causes the perpetrators of the movement sometimes requires a long time while at the intersection. Based on the problems that have been raised, an evaluation of the intersection performance at the intersection of Jl. Asembagus - Jl. Seruni Situbondo Regency. To support this study, samples of traffic volume, queue length, and delays in the field survey of existing conditions are carried out on 3 days starting from Saturday, February 23, 2019, Sunday, February 24, 2019, and Monday, February 25, 2019. This evaluation method uses 2014 Indonesian Road Capacity Guidelines and using the Minister of Transportation Regulation 96 of 2015. From the results of a three-day field survey, the highest volume was obtained on Sunday 24 February 2019 at 11.00-12.00 with a value of 2298 cur / hr, queue length of 135 meters, and delays of 52 , 5 sec / vehicle with level of service E. The alternative scenario chosen from the three planned alternatives is the second alternative, the intersection geometric change. The alternative provides an increase in the level of service that starts from F turns into D.

Keywords : *Road Crossing Performance, Signalized Intersections, Traffic Management.*

ABSTRAK

Tingginya tingkat kemacetan merupakan salah satu penyebab tingginya permasalahan transportasi di Kabupaten Situbondo. Permasalahan tersebut secara umum sering terjadi di beberapa persimpangan di Kabupaten Situbondo, salah satunya adalah pada persimpangan bersinyal Jl. Asembagus – Jl. Seruni. Kemacetan yang terjadi pada persimpangan ini sering kali menimbulkan antrian dan tundaan yang cukup tinggi. Hal tersebut menyebabkan pelaku pergerakan terkadang membutuhkan waktu yang lama saat berada di persimpangan tersebut. Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan, maka dilakukanlah evaluasi kinerja simpang pada persimpangan bersinyal Jl. Asembagus – Jl. Seruni Kabupaten Situbondo. Untuk menunjang studi ini diperlukan sampel volume lalu lintas, panjang antrian, dan tundaan dengan survey lapangan pada kondisi eksisting yang dilaksanakan pada 3 hari di mulai dari hari Sabtu 23 Februari 2019, Minggu 24 Februari 2019, dan Senin 25 Februari 2019. Metode evaluasi ini menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2014 dan menggunakan Peraturan Menteri Perhubungan 96 Tahun 2015. Dari hasil survey lapangan selama tiga hari, diperoleh volume tertinggi terjadi pada Minggu 24 Februari 2019 pukul 11.00-12.00 dengan nilai 2298 skr/jam, panjang antrian 135 meter, dan tundaan 52,5 det/kend dengan tingkat pelayanan E. Skenario alternatif yang dipilih dari tiga alternatif yang direncanakan adalah alternatif kedua yaitu perubahan geometrik simpang. Alternatif tersebut memberikan kenaikan tingkat pelayanan yang berawal dari F berubah menjadi D.

Kata kunci : *Kinerja Simpang, Manajemen Lalu Lintas, Simpang Bersinyal.*

1. PENDAHULUAN

Pengembangan infrastruktur di Indonesia saat ini yang paling dominan digunakan adalah beton pada konstruksi utamanya. Selain beton, dalam konstruksi bangunan juga terdapat mortar. Mortar berfungsi sebagai matrik pengikat atau bahan pengisi bagian penyusun suatu konstruksi yang bersifat struktural maupun non-struktural. Mortar memiliki keunggulan yaitu kuat tekan yang tinggi serta mudah dalam pengerjaannya. Namun karakteristik lain dari mortar adalah sifatnya yang mudah mengalami keretakan. Kelelahan akibat pembebanan, susut dan rangkak, faktor lingkungan hingga kurang teliti dalam pengerjaan merupakan penyebab utama terjadinya keretakan pada mortar (Rizal et al., 2021).

Kerusakan pembesaran pada pori-pori mortar atau sering disebut dengan istilah retak rambut (*micro crack*). *Micro crack* memiliki dimensi yang sangat kecil, secara umum karena tidak dianggap berbahaya. Seiring waktu perubahan dimensi *micro crack* dapat mengakibatkan kegagalan struktur bangunan akibat dimensi keretakan yang semakin luas.

Mortar rentan mengalami kerusakan yang disebabkan dari eksternal maupun internal. Kerusakan yang terjadi pada mortar dapat berupa retakan sampai dengan kehancuran akibat korosi yang parah pada konstruksi.

Di Indonesia terdapat beberapa inovasi penggunaan *self healing* yang di gunakan untuk perbaikan eksternal maupun pada saat proses pembuatan benda uji. Menurut penelitian (Khan, Muhammad, Basit, 2020; Mohamed & Najm, 2019; Rizal et al., 2021)

tentang penggunaan bakteri dengan pengaruh kinerja mortar dimana metode yang dilakukan yaitu di campurkan bakteri secara langsung pada saat pembuatan benda uji mortar. Selain itu juga dapat penelitian yang dilakukan oleh (Setiawan et al., 2023) dengan pengamatan beton *self healing* dengan menggunakan bakteri *bacillus subtilis* dengan pembuatan beton Isolat bakteri murni Selanjutnya bakteri yang telah menjadi larutan mensubstitusikan 5% dari kebutuhan air campuran beton normal dengan menunjukkan hasil dimana penggunaan bakteri *bacillus subtilis* mempengaruhi dalam penutupan retak serabut pada beton. Namun dari beberapa hasil penelitian terdahulu, belum ada penelitian Visual yang mampu mengukur dan menunjukan secara detail perkembangan kemampuan pemulihan mandiri pada retak yang menunjukan efektifitas *Self-Healing*.

Dari berbagai penjelasan di atas tujuan dari penelitian ini adalah untuk analisis perkembangan penutupan mandiri (*self healing*) pada *micro crack* dengan adanya penambahan bakteri *bacillus subtilis* dan komponen pendukungnya mortar, prosentase optimum campuran bakteri dan pengaruh penambahan bakteri terhadap penutupan retak.

Penelitian (Herlambang & Saraswati, 2017) "Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus subtilis* Dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik" (Syarif et al., 2020) Universitas Islam Riau pernah dilakukan dengan hasil dari penelitian ini adalah penerapan teknik bio grouting di tanah organik harus dilakukan beberapa penyelidikan untuk memeriksa efek dalam teknik dan sifat fisik tanah organik. Dimana pada reaksi ini terbentuk

adanya enzim ureasi yang berperan sebagai biokatalisator untuk mempercepat proses reaksi antar reagen.

Menurut (Khan, Muhammad, Basit, 2020) dari The University of Sydney melakukan penelitian tentang “Self-Healing Performance of Bacteria-Based Mortar in Marine Environment” bahwa kondisi pasang surut terbukti mempengaruhi penyembuhan penyembuhan mampu meningkat pada kondisi mortar yang terendam didalam air laut. Metode pada penelitian ini digunakan dengan pencampuran bakteri secara langsung pada saat pembuatan mortar dikembangkan menggunakan halobacillus halophilus dan agregat perlit. Hal ini di pilih untuk memlihah preklursor nutrisi optimal untuk pembuatan mortar dengan bakteri berbasis lingkungan air laut yang memiliki pembuktian kalsium laktat. Penilaian visual yang dilakukan untuk melihat penyembuhan menggunakan pengolahan gambar, mekanis kekuatan, volume rongga permeabel (VPV), pemindaian mikroskop elektronik (SEM), energi dispensif X-Ray (EDX) dan X-Ray diffraction (XRD).

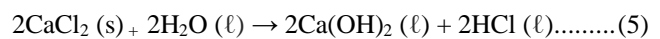
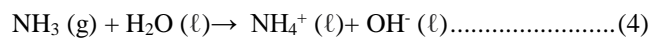
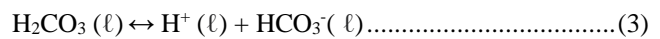
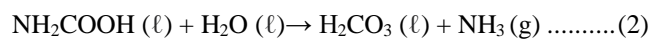
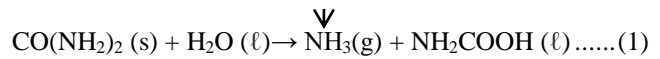
Menurut (Rizal et al., 2021) dari liteknik Negeri Lhokseumawe melakukan penelitian Peningkatan kuat tekan terjadi pada perendaman dengan air biasa. Semakin banyak penggunaan bakteri *bacillus subtilis* semakin memperkecil peningkatan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa persentase bakteri 20% dapat diperlakukan sebagai persentase bakteri yang optimal untuk peningkatan kuat tekan. Namun pada benda uji mortar setelah direndam dengan air biasa 28 hari kemudian dilanjutkan perendaman dengan lingkungan agresif (larutan sulfat) selama 28 hari, akan mengakibatkan menurunnya kuat tekan mortar. Hal ini disebabkan hasil reaksi antara sulfat dengan pasta semen yang dapat menghasilkan ettringite. Dari analisa hasil uji kuat tekan mortar diatas menunjukkan bahwa penambahan bakteri *bacillus subtilis* dapat meningkatkan kuat tekan pada mortar yang dilakukan perawatan pada air biasa. Namun semakin banyak penggunaan bakteri *bacillus subtilis* memperkecil peningkatan kuat tekan pada benda uji mortar yang direndam dalam larutan sulfat dan dapat menurunkan kuat tekan.

Self healing merupakan pemulihan mortar dengan menggunakan mikroba bakteri tertentu sebagai agen pemulihan diri secara mandiri menggunakan takaran bakteri tertentu. Menurut (Herlambang & Saraswati, 2017) *Self-healing concrete* dapat dibedakan menjadi dua, berdasarkan mekanisme perbaikannya, yaitu *autogenous healing* dan *engineered healing*.

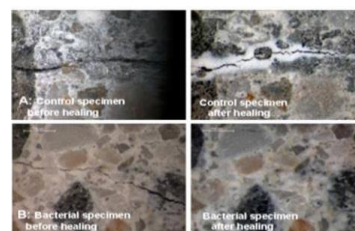
Autogenous healing efektif pada retakan dengan celah kecil hingga 0,2 mm. *Engineered healing* menggunakan aplikasi bakteri umumnya menggunakan teknik enkapsulasi. Dalam penggunaan *self healing* menggunakan spesies bakteri *bacillus subtilis*. Pencampuran mikroba dalam proses

pembuatan mortar ditunjukkan untuk dapat menutup adanya *micro crack* dengan endapan CaCO₃. Dengan persamaan di bawah ini:

Enzim Urease



Menurut (Junaidi et al., 2022);(Syarif et al., 2020);(Herlambang & Saraswati, 2017);(Khan, Muhammad, Basit, 2020) Proses presipitasi Calcium Carbonate di dalam matriks beton dimulai ketika urea yang bertemu dengan air menghasilkan asam karbonat dan amonia. Dengan adanya penambahan mikroba menghasilkan enzim urease yang digunakan sebagai biokatalisator. Asam karbonat dan air akan bereaksi menghasilkan bikarbonat dan amonia. Bikarbonat didapatkan dari pemecahan senyawa asam karbonat. Pertemuan antara senyawa amonia dengan air membentuk senyawa amonium dan ion OH⁻. Penambahan CaCl₂ dan air membentuk senyawa kalsium hidroksida Ca(OH)₂ dan HCl. Reaksi selanjutnya ialah pertemuan antara bikarbonat dengan ion Ca²⁺ yang terlarut pada pasta membentuk senyawa CaCO₃. Pengendapan juga dapat terjadi ketika asam karbonat bereaksi dengan Portlandite. Untuk senyawa lainnya seperti asam klorida, amonia, dan ion OH⁻ akan bertemu dan membentuk garam dengan pH-7.



Gambar 1.1 Before-After Self healing

Sumber: (Jonkers, 2021)

Pengertian mortar menurut (Anonim, 2002) adalah campuran antara pasir, air, dan semen portland dengan komposisi tertentu. Mortar pada penelitian ini merupakan campuran yang terdiri dari pasir, semen, dan air. Mortar ini digunakan sebagai pekerjaan pasangan yang harus memenuhi persyaratan. (Amulia Pranata Putri Pramita, 2021)

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram- positif yang berbentuk batang dan bersumber dari tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi dengan kadar pH optimum. *Bacillus subtilis* memiliki sel yang berbentuk basil dengan ketebalan yang bervariasi. *Bacillus subtilis* memiliki bentuk yang

kelas yaitu berbentuk rantai dan tunggal yang kemudian membentuk endospora yang berbentuk bulat dan oval. (Karolina, 2016) pH optimal untuk aktivitas enzim urease berkisar antara pH 7.0 hingga pH 8.0. Aktivitas enzim urease yang terkandung di dalam bakteri ureolitik juga berperan besar dalam proses pengendapan kalsit sehingga pengaplikasian bakteri ureolitik banyak dimanfaatkan dalam bidang konstruksi. (Linda et al., 2021)



Gambar 1.2 Hasil Pengamatan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Sumber: (Setiawan et al., 2023)

Tabel 1.1 Karakter *Bacillus subtilis*

Karakter	<i>Bacillus subtilis</i>
Bentuk	Batang (tebal atau tipis), rantau atau tunggal
Gram	Positif
Sumber	Tanah, air, udara, dan materi tumbuhan terdekomposisi
Spora	Penghasil endospora
Respirasi	Aerob obligat
Pergerakan	Motif dengan adanya Flagella
Ph Pertumbuhan	7-8
Suhu Pertumbuhan	25-35oC
Katalase	Positif

Sumber: (Setiawan et al., 2023)

6. METODELOGI PENELITIAN

Bahan Material

1. Mortar (Pasir, semen, dan air)
2. Bakteri *bacillus subtilis*
3. Komponen pendukung
 - a. Urea $CO(NH_2)_2$
 - b. Kalsium klorida ($CaCl_2$)
 - c. Air
 - d. Air kelapa

Tempat dan Waktu

1. Pengujian bahan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Kontruksi Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Pembuatan benda uji mortar dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Pengujian mortar, mapping berskala, dan durability dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Pembacaan SEM EDX dilaksanakan di Laboratorium Mineral Dan Material Maju Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang.

Populasi dan Sampel

Populasi dan sampel pada penelitian ini penulis menggunakan beberapa sampel (benda uji) yang

disebut dengan populasi. Penelitian ini menggunakan variasi campuran dan jumlah sampel (benda uji) yang telah ditentukan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Variasi *Micro crack* Mortar Tanpa Perlakuan

Sampel	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Nutrisi (gr)				Jumlah(n)	
				Air	CaCl ₂	CO(NH ₂) ₂	Air Kelapa		Bakteri
50%	3292,5	436,5	156,74	31,35	31,35	31,35	31,35	31,35	3
50%	3292,5	436,5	156,74	39,185	-	39,185	39,185	39,185	3
50%	3292,5	436,5	156,74	39,185	39,185	-	39,185	39,185	3
50%	3292,5	436,5	156,74	78,37	-	-	-	78,37	3
75%	3292,5	436,5	78,37	47,02	47,02	47,02	47,02	47,02	3
75%	3292,5	436,5	78,37	58,78	-	58,78	58,78	58,78	3
75%	3292,5	436,5	78,37	58,78	58,78	-	58,78	58,78	3
75%	3292,5	436,5	78,37	117,56	-	-	-	117,56	3
Total Benda Uji									24

Sumber: Data Pribadi

Nb: benda uji 30 cm x 30 cm x 2 cm, Perlakuan semprot dilakukan di hari ke 14 dan dilakukan pengamatan dihari ke 14, 21, 28.

Tabel 2.2 Variasi *Micro crack* Mortar dengan Perlakuan

Sampel	Pasir (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Nutrisi (gr)				Jumlah(n)	
				Air	CaCl ₂	CO(NH ₂) ₂	Air Kelapa		Bakteri
50%	3292,5	436,5	156,74	31,35	31,35	31,35	31,35	31,35	3
50%	3292,5	436,5	156,74	39,185	-	39,185	39,185	39,185	3
50%	3292,5	436,5	156,74	39,185	39,185	-	39,185	39,185	3
50%	3292,5	436,5	156,74	78,37	-	-	-	78,37	3
75%	3292,5	436,5	78,37	47,02	47,02	47,02	47,02	47,02	3
75%	3292,5	436,5	78,37	58,78	-	58,78	58,78	58,78	3
75%	3292,5	436,5	78,37	58,78	58,78	-	58,78	58,78	3
75%	3292,5	436,5	78,37	117,56	-	-	-	117,56	3
Total Benda Uji									24

Sumber: Data Pribadi

Nb: benda uji 30 cm x 30 cm x 2 cm, Perlakuan semprot dilakukan di hari ke 14 dan dilakukan pengamatan dihari ke 14, 21, 28.

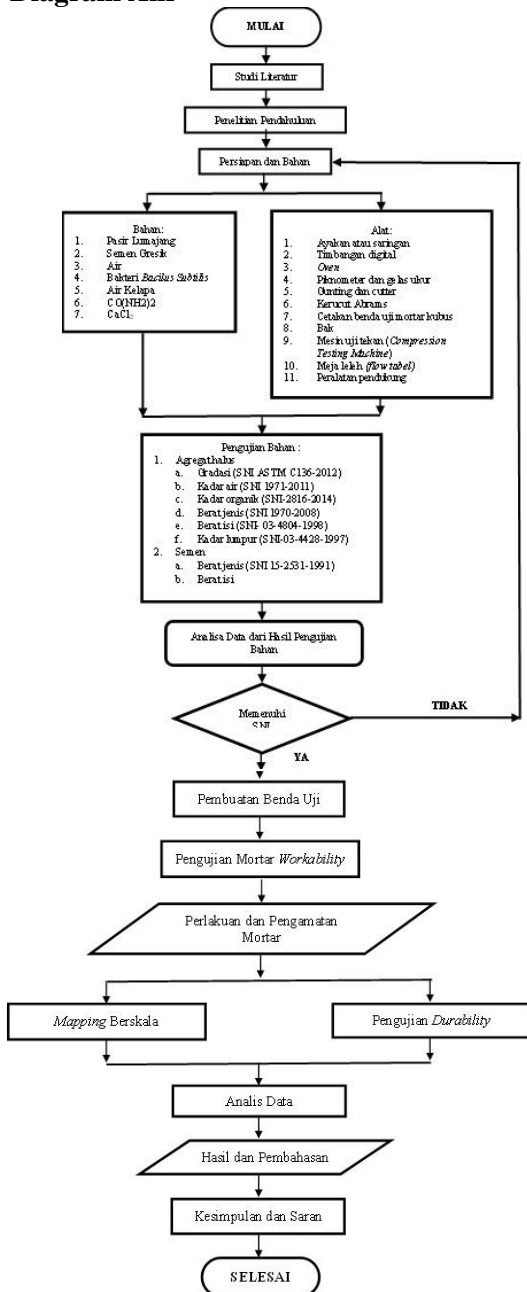
Perlakuan Benda uji

Perlakuan dilakukan setelah benda uji keluar dari cetakan (*mold*) dimana perlakuan yang dilakukan pada penelitian ini adalah membiarkan benda uji dalam ruangan dengan maksud mengkondisikan kehilangan air selama 14 hari. Selanjutnya akan dilakukan perlakuan *spray* dengan menggunakan aquadest untuk di hari ke 14.

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data dari penelitian ini adalah pengujian mortar, mapping berskala, dan pengujian SEM dan EDX pada setiap benda uji. Tujuan dari pengujian ini untuk menentukan kuat tekan mortar yang dibuat dengan tambahan bakteri *bacillus subtilis* sebagai *agent self-healing concrete*.

Diagram Alir



Gambar 2.1 Diagram Alir

7. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan cetakan hollow siku ukuran 2x2x0,9 cm yang di bentuk persegi dengan ukuran 30x30x2 cm dengan alas menggunakan multiplek dengan ketebalan ± 5 mm. Cetakan benda uji yang digunakan ini adlaah cetakan yang dibuat custom sesuai benda uji yang akan dibuat.



Gambar 4.18 Cetakan Benda Uji

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Penentuan Kebutuhan Material

Penentuan Kebutuhan material dengan bakteri *bacillus subtilis* maupun bahan tambahan tidak mempengaruhi komposisi kebutuhan material yang di guankan. Komposisi penambahan bakteri *bacillus subtilis* dan komponen pendukung akan di lakukan dari persentase kadar air yang digunakan. Penyusunan Komposisi benda uji menggunakan perbandingan berat. Jumlah keseluruhan benda uji yang digunakan masing-masing variable yaitu 3 buah. Berikut ini merupakan contoh perhitungan komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Berat isi semen} &= 1,197 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Berat isi pasir} &= 1,756 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Volume benda uji} &= 30 \times 30 \times 2 \\ &= 1800 \text{ cm}^3 \\ \text{Kebutuhan Semen} &= \frac{1}{6} \times \text{Berat isi semen} \times V \times \text{fk} \\ &= \frac{1}{6} \times 1,197 \times 1800 \times 1,4 \\ &= 502,74 \text{ gr} \\ \text{Kebutuhan Pasir} &= \frac{4}{6} \times \text{Berat isi pasri} \times V \times \text{fk} \\ &= \frac{4}{6} \times 1,756 \times 1800 \times 1,4 \\ &= 3687,6 \text{ gr} \\ \text{Kebutuhan Air} &= 0,7 \times \text{kebutuhan semen} \\ &= 0,7 \times 502,74 \\ &= 351,9 \text{ gr} \end{aligned}$$

Berikut merupakan perhitungan komposisi bakteri *bacillus subtilis* dan komponen tambahan dalam pembuatan benda uji dengan variasi yang mengacu pada persentase air yang digunakan dalam satu benda uji, yaitu:

Variasi dengan 50% dari kebutuhan air:

$$\begin{aligned} 50\% &= \text{Kebutuhan air} \times 50\% \\ &= 351,9 \times 50\% \\ &= 175,95 \text{ gr} \end{aligned}$$

Variasi dengan 75% dari kebutuhan air:

$$\begin{aligned} 75\% &= \text{Kebutuhan air} \times 75\% \\ &= 351,9 \times 75\% \\ &= 263,925 \text{ gr} \end{aligned}$$

Pencampuran benda Uji

Pendampuran dan pembuatan benda uji dilakukan setelah didapatkan komposisi bahan yang diperlukan. Pencampuran dan pembuatan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Kontruksi ITN Malang. Bahan yang digunakan disiapkan dan dilakukan pencampuran bakteri *bacillus subtilis* dan komponen tambahan. Selanjutnya dilakukan pencampuran

seluruh material dengan diaduk menggunakan *mixer* sampai merata.



Gambar 3.1 Campuran Bakteri *Bacillus subtilis* dan Komponen Tambahan

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Adonan yang sudah merata di cetak di dalam cetakan yang sudah di lapiasi oleh plastik, penggunaan plastik disini sebagai pengganti oli. Karena penggunaan oli ditakutkan akan mempengaruhi penelitian yang dapat mempengaruhi bakteri *bacillus subtilis* dan bahan tambahan lainnya dalam prose *self healing*.

Adonan di tuangkan dalam satu layer kemudian dilakukan 32x tumbukan. Selanjutnya setelah dilakukan penumbukan bagian permukaan benda uji diratakan dan benda uji didiamkan dalam suhu ruang dan menunggu benda uji kering dan siap di lepas dari cetakan. Benda uji yang telah dibuat ternyata memiliki tingkat kering sendiri-sendiri. Dalam hal ini dapat terjadi karena bahan yang dicampurkan kedalam benda uji yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi waktu kering benda uji.



Gambar 3.2 Percetakan Benda Uji

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Tabel 3.1 Time Setting Benda Uji

Keterangan		Hari Ke-
%	Komposisi	
50%	Lengkap	7
	-(CO(NH ₂) ₂)	10
	-CaCl ₂	11
	-All	5
75%	Lengkap	7
	-(CO(NH ₂) ₂)	12
	-CaCl ₂	10
	-All	5

Untuk mortar 1 sampel di setiap sub sampelnya dilakukan perlakuan penyemprotan di hari ke 14 dan 21. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan bakteri dalam *self healing* jika di berikan perlakuan *Spray* dan tanpa perlakuan apapun.



Gambar 4.3 Perlakuan *Spray* Pada Hari Ke-14

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Hasil Pengamatan Benda Uji

Hasil pengatan *self healing* dilakukan pada hari ke 14, 21, dan 28 hari. Pengamatan dilakukan mulai dari hari ke 14 karena sebelum hari ke 14 benda uji masih dalam kondisi basah belum kering sepenuhnya. Pengawatan awal benda uji lebih lama kering dibandingkan dengan benda uji kontrol yang hanya dalam waktu 24 jam sudah mengering dan daat di lepas dari cetakan. Sedangkan untuk benda uji kombinasi memerlukan lebih dari 3 hari untuk kering sempurna.



a.

d.

b.

c.

Gambar 3.4 Pengeringan Benda Uji

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Hasil Pengujian Mortar

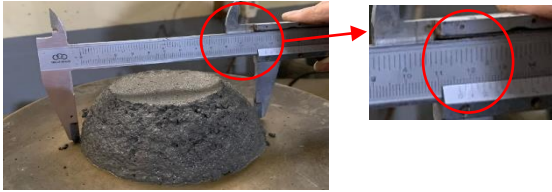
Pengujian mortar merupakan pengujian mortar *flow table*. Pengujian *flow table* pada benda uji bertujuan untuk mengetahui kemudahan pencampuran adukan benda uji dengan tetap mengacu pada aturan SNI 03-6825-2002 tentang metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil (SNI 03-6825, 2002). Berikut merupakan hasil dari pengujian *flow table* yang dilakukan setiap variasi campuran benda uji:

Tabel 3.2 Flow Table Test Pada Variasi Campuran Benda Uji

Variasi	Flow Test (mm)			Rata-Rata	
	A	B	C		
50 %	Lengkap	11,2	11,3	11,5	11,33
	-CaCl	11	11,1	11,1	11,07
	-CO(NH ₂) ₂	11	10,9	11,2	11,03
	-Bakteri+air	11,3	11,3	11,5	11,03
75 %	Lengkap	11,5	11,4	11,2	11,37
	-CaCl	11,2	11,3	11,2	11,27
	-CO(NH ₂) ₂	11,5	11,5	11,3	11,43

	-Bakteri+air	11,5	11,2	11,2	11,3
--	--------------	------	------	------	------

Sumber: Pengujian



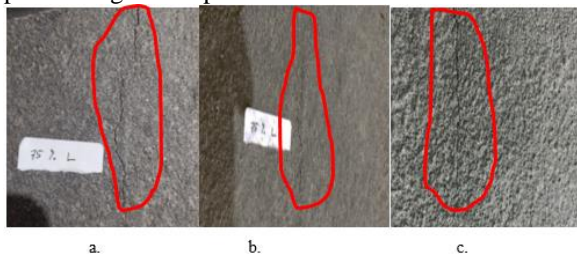
Gambar 3.5 Flow Pada Komposisi 75% -CO(NH₂)₂

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Pada tabel hasil uji *flow* diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian *flow* sesuai dengan aturan yang ada pada SNI 03-6825-2002 yaitu sesuai dengan aturan dimana hasil *flow* tidak boleh melebihi 1-1,5 mm dari diameter cincin meja leleh (SNI 03-6825, 2002).

Hasil Mapping berskala

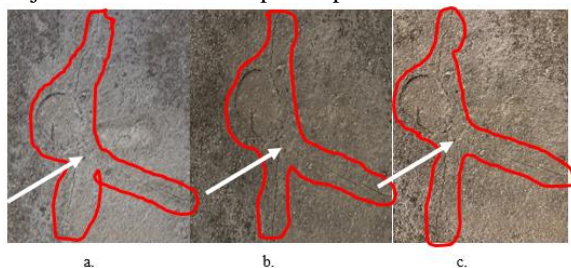
Mapping berskala dilakukan menggunakan pengamatan secara visual dengan bantuan kamera hp. Selain melakukan *mapping* berskala terhadap retak Berikut merupakan hasil *mapping* berskala yang mengalami pemulihan secara mandiri (*self healing*) pada retak serabut (*micro crack*) dengan cara perlakuan *spray* dan tanpa perlakuan dengan perbandingan komposisi sama.



Gambar 3.6 Komposisi 75% Lengkap (Tanpa Perlakuan)

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar 3.6 merupakan benda uji dengan komposisi 75% lengkap yang terdiri dari material utama mortar dengan campuran bakteri *bacillus subtilis*, CaCl₂, CO(NH₂)₂, dan air kelapa. Pengamatan ini dilakukan pada hari ke 14 (a.), hari ke 21 (b.) dan hari ke 28 (c.) pada komposisi 75% lengkap tanpa perlakuan ini adalah benda uji yang tidak diperlakukan apapun setelah dilakukan peretakan pada benda uji. Pada benda uji ini hanya dilakukan pengamatan penutupan retak, dimana retak yang terjadi pada benda uji ini merupakan retak serabut yang ukurannya di bawah 1 mm. Penutupan retak pada benda uji kemungkinan tidak terjadi karena tidak ada penutupan secara visual.



Gambar 3.7 Komposisi 75% Lengkap (Perlakuan)

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar diatas merupakan benda uji dengan komposisi 75% lengkap sama dengan benda uji gambar 3.6 perbedaan dari benda uji gambar adalah pada perlakuan yang dilakukan *pasca* peretakan yaitu perlakuan *spray* pada hari ke 14, 21, dan 28 hari. Retak yang terjadi pada benda uji merupakan retak serabut dengan ukuran dibawah 1 mm. Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa penutupan retak pada benda uji terjadi karena ada penutupan secara visual mulai dari hari ke 14-28 hari.

Hasil Pengujian SEM dan EDX

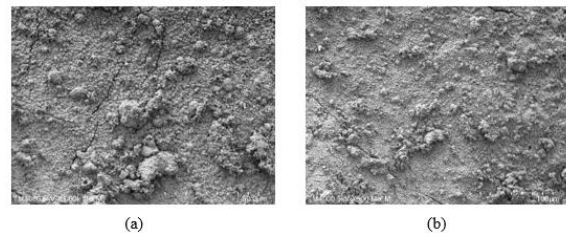
Pengujian (*SEM*) (*EDX*) yang dilakukan di Laboratorium Mineral Dan Material Maju Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang dengan mengamati tampak atas dan dalam dari benda uji yang terbaik. Hasil dari pembacaan *SEM* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3.8 Pembacaan SEM Tampak Sampel 75% Lengkap

Sumber: Pembacaan Penelitian

Gambar di atas merupakan gambar tampak dari benda uji 75% lengkap dengan pembacaan pembesaran sebesar 500 mix dengan 100 µm.



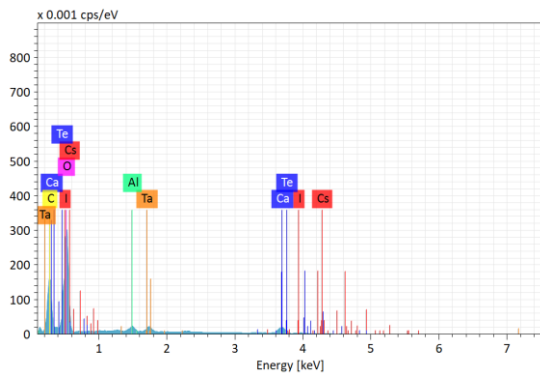
Gambar 3.9 Pembacaan SEM Dalam Sampel 75% Lengkap

Sumber: Pembacaan Penelitian

Pada gambar diatas dilakukan pembacaan *SEM* pada sampel 75% lengkap dimana pada gambar (a) merupakan pembacaan *SEM* dengan pembesaran 1000 mix dengan 50 µm, sedangkan untuk gambar (b) dilakukan pembacaan sebesar 500 mix dengan 100 µm. Pemesaran pembacaan dilakukan maksimal pada ukuran 2000 mix dengan 20 µm. Hanya saja penelitian ini mencantumkan pembacaan dibawahnya karena pembacaan terbesar menghasilkan gambar yang kabur (blur). Pengujian *SEM* pada sampel *micro crack* mortar ini sangat dibutuhkan untuk melihat sampel yang ditutupi oleh CaCO₃ (Setiawan et al., 2023).

EDX adalah pengujian yang bertujuan untuk melihat komposisi atom pada material. Pengujian *EDX* pada

mortar berguna untuk mengecek dan memastikan komposisi material yang menutupi celah retakan adalah kalsium karbonat (CaCO₃). Dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 3.10 Grafik Pembacaan EDX pada Benda Uji 75%

Sumber: Pembacaan Penelitian

Tabel 3.3 Pembacaan Grafik EDX

Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	rel. error [%] (1 sigma)
I	53	1247	74.84	74.84	71.20	15.99	21.36
Te	52	380	23.93	23.93	22.64	7.33	30.62
Ca	20	1899	0.69	0.69	2.09	0.09	13.62
O	8	15577	0.31	0.31	2.33	0.07	21.29
C	6	7716	0.16	0.16	1.61	0.05	30.20
Ta	73	1071	0.05	0.05	0.03	0.00	6.31
Al	13	943	0.02	0.02	0.09	0.00	6.57
Cs	55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
Sum		100.00	100.00	100.00			

Pembahasan

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan perbandingan material plesteran 1:5. Sedangkan untuk benda uji yang digunakan yaitu dengan ukuran 30x30x2 cm dengan. Pemilihan ukuran benda uji ini dikarenakan penelitian ini mengacu pada rangkai susut yang memerlukan permukaan besar dengan harapan dapat terjadi retakan saat terjadi rangkai susut pada benda uji.

Benda uji yang telah dibuat memiliki tingkat waktu kering benda uji yang berbeda-beda sesuai dengan gambar 4.22. Pada penelitian ini diharapkan retak dari rangkai susut benda uji. Karena pada nyatanya rangkai susut alami yang di harapkan terjadi pada benda uji memerlukan waktu lama maka peneliti melakukan perlakuan benda uji dengan cara dipukul untuk mendapatkan retak pada benda uji. Benda uji yang telah dilakukan perlakuan retak menghasilkan retak yang berbeda-beda. Hal ini di sebabkan oleh kekuatan pukulan pada benda uji yang berbeda-beda. Pada penelitian ini dilakukan pegujian mortar (workability) dengan cara pengujian flow pada adonan benda uji yang sudah memenuhi kriteria dimana hasil flow adonan +1-1,5 mm dari diameter cincin. Sedangkan untuk penelitian mapping berskala

dilakukan pada 48 sampel dan 24 sampel tanpa dilakukan perlakuan, 24 sampel lainnya dilakukan perlakuan dengan cara di spray.

Menurut (Setiawan et al., 2023) pada penelitian Analisis Efektifitas Kemampuan Pulih Mandiri *Micro crack* Pada *Self-Healing Concrete* menyatakan bahwa pengamatan visual terbatas dilakukan dengan adanya perubahan tampak yang berwarna putih, dan pengamatan dilakukan dengan penggunaan alat bantu portabel scanner yang digunakan untuk mengamati penutupan retak yang terjadi. Pada penelitian yang dilakukan peneliti sampel tidak mengalami perubahan warna seperti debu pada permukaan benda uji. Sedangkan untuk *self healing* kemungkinan besar hanya pada 1 sampel benda uji yaitu komposisi 75% lengkap dengan di tunjukkan secara pengamatan visual tetapi tidak 100% dapat di buktikan kepercayaannya dikarenakan tidak adanya alat yang mendukung untuk memastikan berapa besar penutupan retakan yang terjadi.

8. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pengaruh penggunaan bakteri *bacillus subtilis* dan komponen tambahan terhadap mortar dalam kemampuan *self healing*, maka dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Perubahan penutupan retak serabut (*micro crack*) terhadap pulih mandiri (*self healing*) dengan penambahan Bakteri *basilius subtilis* dan komponen pendukung terhadap retak serabut (*micro crack*) penutupan pulih mandiri (*self healing*) mortar dapat mempengaruhi lama kering mortar. Dimana pada benda uji dengan komposisi 50% lengkap waktu kering (*setting time*) dapat terjadi pada hari ke 7 pasca lepas dari mold, untuk *setting time* tercapat terjadi pada komposisi 50% bakteri+ air yaitu 5 hari. Sedangkan *setting time* terlama terjadi pada benda uji dengan komponen 75% -(CO(NH₂)₂) pada hari ke 12 pasca lepas dari mold. Hal ini disebabkan karena setiap campuran badan uji memiliki kandungan yang berbeda-beda hal ini yang mempengaruhi waktu pengeringan benda uji.
- 2 Analisis pengamatan proses penutupan retak dengan perlakuan *spray* di hari ke 14, 21, dan 28 hari menunjukkan bahwa terjadi penutupan pada benda uji komposisi 75% lengkap dapat di lihat secara visual pada gambar 4.33, sedangkan untuk benda uji tanpa perlakuan tidak ada yang mengalami penutupan retak serabut (*micro crack*) secara mandiri (*self healing*).
- 3 Prosentase optimum bakteri *bacillus subtilis* yaitu berada pada komposisi benda uji 75% lengkap dengan banyak bakteri yang digunakan adalah

52,785 dengan komponen tambahan sama banyak dengan bakteri. Penentuan prosentase ini di pilih karena hasil penelitian dan di buktikan oleh pengamatan visual bahwa penutupan CaCO₃ oleh pada benda uji 75% dengan retak serabut yang ada.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Amulia Pranata Putri Pramita. (2021). *CAMPURAN MORTAR MENGGUNAKAN PASIR GUNUNG* (p. 84).
- Herlambang, W., & Saraswati, dan A. (2017). Bio Concrete : Self-Healing Concrete , Aplikasi Mikroorganisme Sebagai Solusi Pemeliharaan. *Prosiding Simposium II – UNIID 2017, September*, 978–979.
<https://conference.unsri.ac.id/index.php/uniid/article/view/653>
- Khan, Muhammad, Basit, E. (2020). Self-Healing Performance of Bacteria-Based Mortar in Marine Environment Originality statement. *Majalah Penelitian Beton, December*.
<https://doi.org/10.1680/jmacr.20.00162%0D>
- Mohamed, O., & Najm, O. (2019). Effect of Curing Methods on Compressive Strength of Sustainable Self-Consolidated Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(3), 55–64.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/3/032059>
- Rizal, F., Aiyub, Hanif, & Anwar, C. (2021). Pengaruh Penggunaan Bakteri Bacillus Subtilis terhadap Kinerja Mortar yang Terpapar Sulfat. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 5(1), 113–121.
- Setiawan, E., Wahyuni, Y. S., & Kartika, N. (2023). Analisis Efektivitas Kemampuan Pulih Mandiri Micro Crack pada Self-Healing Concrete. *Rekayasa Sipil*, 17(2), 169–178.
<https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2023.017.02.8>
- SNI 03-6825. (2002). Sni 03-6825-2002. *Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*.
- Syarif, F., Mahadika Davino, G., & Ferry Ardianto, M. (2020). Penerapan Teknik Biocementation Oleh Bacillus Subtilis Dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik. *Jurnal Saintis*, 20(01), 47–52.
[https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20\(01\).4809](https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20(01).4809)