



**UPAYA PENINGKATAN KUALITAS AGREGAT DAUR ULANG DENGAN
MENGGUNAKAN BAKTERI PENGENDAP CaCO_3**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



BRILLYAN ADITYA ARYANSAH DWITAMA PUTRA

NIM. 175060101111011

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**UPAYA PENINGKATAN KUALITAS AGREGAT DAUR ULANG DENGAN
MENGUNAKAN BAKTERI PENGENDAP CaCO₃**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BRILLYAN ADITYA ARYANSAH DWITAMA PUTRA

NIM. 1750601010000000

Skripsi ini telah direvisi dan ditetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 9 Juni 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT

NIK. 201002 771703 2 001

Irfan Mustafa, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 19781231 200801 1 021

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

Upaya Peningkatan Kualitas Agregat Daur Ulang dengan Mnegunakan Bakteri
Pengendap CaCO₃

Nama Mahasiswa : Brillyan Aditya Aryansah Dwitama

Putra NIM : 175060101111011

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

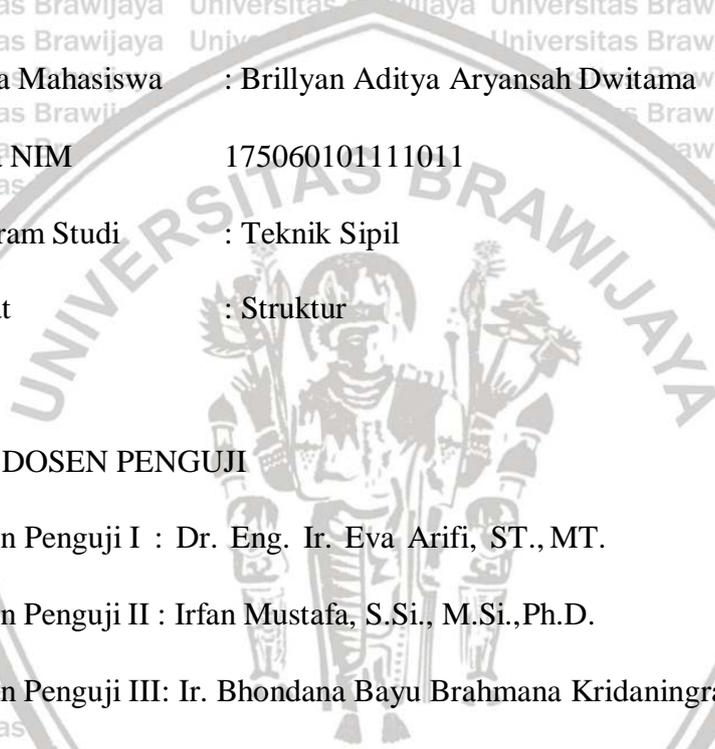
Dosen Penguji I : Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT.

Dosen Penguji II : Irfan Mustafa, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dosen Penguji III: Ir. Bhondana Bayu Brahmana Kridaningrat, ST., MT.

Tanggal Ujian : 29 Juni 2021

SK Penguji : 1042/UN10.F07/PP/2021



PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 29 Juni 2021




Brillyan Aditya A.D.P

175060101111011

RINGKASAN

Brillyan Aditya Aryansah Dwitama Putra, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Upaya Peningkatan Kualitas Agregat Daur Ulang dengan Menggunakan Bakteri Pengendap CaCO_3 , Dosen Pembimbing : **Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT. dan Irfan Mustafa S.Si., M.Si., Ph.D.**

Agregat daur ulang adalah agregat dari hasil pemecahan limbah beton, dari melimpahnya limbah beton di dunia konstruksi maka perlu diadakannya daur ulang untuk mengurangi limbah tersebut. Kualitas dari agregat daur ulang lebih rendah apabila dibandingkan dengan agregat alami, maka dalam penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas dari agregat daur ulang. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar daur ulang dengan ukuran 1,0 cm – 1,4 cm yang diberi perlakuan dengan mencampurkan bakteri ureolitik pengendap CaCO_3 . Dengan diberikan perlakuan menggunakan bakteri ureolitik diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari agregat daur ulang. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan alat *Compression Test Machine* untuk pengujian agregat dalam menahan beban tekan sebesar 400 kN.

Benda uji dalam penelitian ini diberikan perlakuan dengan konsentrasi bakteri yaitu 10^5 , 10^6 , dan 10^7 dengan masa inkubasi yaitu 7, 14 dan 21 hari.

Hasil akhir penelitian didapatkan nilai berat jenis sebesar 2,56 dengan berat jenis sebelum diberikan perlakuan yaitu sebesar 2,41, penambahan yang terjadi yaitu sebesar 0,15. Hasil penyerapan dari agregat daur ulang mengalami penurunan, secara keseluruhan yang mengalami penurunan penyerapan dengan hasil terbesar yaitu pada sampel S17 dengan konsentrasi 10^5 dengan masa inkubasi 14 hari, penurunan sebesar 0,55 dengan nilai penyerapannya sebesar 3,68%. Sedangkan untuk nilai *Aggregate Crushing Value* setelah diberikan perlakuan pada agregat daur ulang tidak mempengaruhi kekuatan agregat dalam menahan beban tekan. Dari hasil yang didapatkan peningkatan kualitas agregat hanya terjadi pada penurunan nilai penyerapan agregat.

Kata kunci : Agregat Daur Ulang, Bakteri Pengendap CaCO_3 , Penyerapan, *Aggregate Crushing Value*.

SUMMARY

Brillyan Aditya Aryansah Dwitama Putra, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, Efforts to Improve the Quality of Recycled Aggregate Using CaCO₃ Precipitating Bacteria, Supervisor : Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST., MT. and Irfan Mustafa S.Si., M.Si., Ph.D.*

Recycled aggregate is aggregate from the breakdown of concrete waste, from the abundance of waste in the world it is necessary to hold recycling to reduce the waste. The quality of recycled aggregate is lower than that of natural aggregate, so in this study an effort was made to improve the quality of recycled aggregate. The material used in this study was re-coarse aggregate with a size of 1.0 cm – 1.4 cm which was treated by mixing CaCO₃ ureolytic bacteria. With the treatment given using ureolytic bacteria is expected to improve the quality of the recycled aggregate. This research was carried out using a compression test machine for testing aggregates to withstand a compressive load of 400 kN.

The specimens in this study were treated with bacterial concentrations of 10⁵, 10⁶, and 10⁷ with incubation periods of 7, 14 and 21 days.

The final result of the study obtained a specific gravity value of 2.56 with a specific gravity before giving treatment that was 2.41, the addition that occurred was 0.15. The absorption results from the recycled aggregates decreased, overall the absorption decreased with the largest results being in sample S17 with a concentration of 10⁵ with an incubation period of 14 days, a decrease of 0.55 with an absorption value of 3.68%. As for the value of Aggregate Crushing Value after the treatment given to the recycling of the aggregate does not affect the strength of the aggregate in resisting the compressive load. From the results obtained, the increase in aggregate quality only occurs in a decrease in aggregate absorption.

Keywords : *Recycled Aggregate, CaCO₃ Precipitating Bacteria, Absorption, Aggregate Crushing Value.*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vii

DAFTAR LAMPIRAN viii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Identifikasi Masalah 3

1.3. Rumusan Masalah 3

1.4. Batasan Masalah 4

1.5. Tujuan Penelitian 4

1.6. Manfaat Hasil Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1. Pengertian Beton 7

2.2. Karakteristik Beton 8

2.3. Agregat Daur Ulang 9

2.3.1. Sifat Fisik dan Kimia Agregat Daur Ulang 10

2.4. Bakteri Ureolitik 11

2.5. Pengujian Agregat Kasar 14

2.5.1. Pengujian Penyerapan dan Berat Jenis 14

2.5.1.1. Peralatan 15

2.5.1.2. Pelaksanaan Pengujian 15

2.5.1.3. Perhitungan 15

2.5.2. Pengujian Berat Isi 17

2.5.2.1. Peralatan 17

2.5.2.2. Pelaksanaan Pengujian 17

2.5.2.3. Pembahasan 18

2.5.2.4. Perhitungan 18

2.5.3. Pengujian *Aggregate Crushing Value* 18

2.5.3.1. Tujuan Pengujian 18

2.5.3.2. Alat dan Bahan 18



2.5.3.3. Langkah - langkah Pengujian.....	20
2.5.3.4. Perhitungan.....	21
2.5.4. Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	21
2.6. Hipotesis.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2. Variabel Penelitian.....	23
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	24
3.3.1. Alat Penelitian.....	24
3.3.2. Bahan Penelitian.....	24
3.4. Analisis Bahan.....	24
3.4.1. Agregat Kasar.....	24
3.4.2. Air.....	24
3.4.3. Bakteri Ureolitik Pengendap CaCO ₃	25
3.4.4. Rancangan Benda Uji.....	25
3.5. Pengujian Bahan Dasar.....	25
3.5.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	25
3.5.2. Pengujian Berat Isi Agregat.....	25
3.6. Tahapan Pembuatan.....	25
3.6.1. Tahap Pemilihan Agregat Daur Ulang.....	25
3.6.2. Pembuatan Benda Uji.....	25
3.7. Pengujian Terhadap Agregat Daur Ulang.....	26
3.7.1. Pengujian Penyerapan dan Berat Jenis.....	26
3.7.2. Pengujian Berat Isi.....	26
3.7.2. Pengujian Kekuatan Agregat Terhadap Tekanan (<i>Aggregate Crushing Value</i>).....	26
3.8. Tabulasi Hasil Penelitian.....	27
3.9. Diagram Alir Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Pengujian Agregat.....	31
4.2. Berat Isi Agregat Kasar.....	31
4.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	37

4.4. *Aggregate Crushing Value*..... 47

BAB V KESIMPULAN..... 51

5.1. Kesimpulan 51

5.2. Saran 52

Daftar Pustaka 53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kuat Tekan Beton..... 8

Tabel 2.2. Berat Jenis Beton..... 8

Tabel 3.1. Form Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar..... 27

Tabel 3.2. Form Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar..... 28

Tabel 3.3. Form Pengujian Kuat Tekan..... 28

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Berat Isi..... 31

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan..... 37

Tabel 4.3. Hasil Pengujian *Aggregate Crushing Value*..... 47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Potongan Pada Agregat Kasar..... 10

Gambar 2.2. Proses Presipitasi CaCO₃..... 13

Gambar 2.3. Silinder Baja, Besi Penusuk dan Plunger..... 19

Gambar 2.4. Alat *Compression*..... 19

Gambar 2.5. Skema SEM..... 22

Gambar 4.1. Grafik Berat Isi S17 – 10⁵..... 32

Gambar 4.2. Grafik Berat Isi S17 – 10⁶..... 33

Gambar 4.3. Grafik Berat Isi S17 – 10⁷..... 34

Gambar 4.4. Grafik Berat Isi R20 – 10⁵..... 34

Gambar 4.5. Grafik Berat Isi R20 – 10⁶..... 35

Gambar 4.6. Grafik Berat Isi R20 – 10⁷..... 36

Gambar 4.7. Grafik Berat Jenis S17 – 10⁵..... 38

Gambar 4.8. Grafik Berat Jenis S17 – 10⁶..... 39

Gambar 4.9. Grafik Berat Jenis S17 – 10⁷..... 39

Gambar 4.10. Grafik Berat Jenis R20 – 10⁵..... 40

Gambar 4.11. Grafik Berat Jenis R20 – 10⁶..... 41

Gambar 4.12. Grafik Berat Jenis R20 – 10⁷..... 41

Gambar 4.13. Grafik Penyerapan S17 – 10⁵..... 42

Gambar 4.14. Grafik Penyerapan S17 – 10⁶..... 43

Gambar 4.15. Grafik Penyerapan S17 – 10⁷..... 43

Gambar 4.16. Grafik Penyerapan R20 – 10⁵..... 44

Gambar 4.17. Grafik Penyerapan R20 – 10⁶..... 45

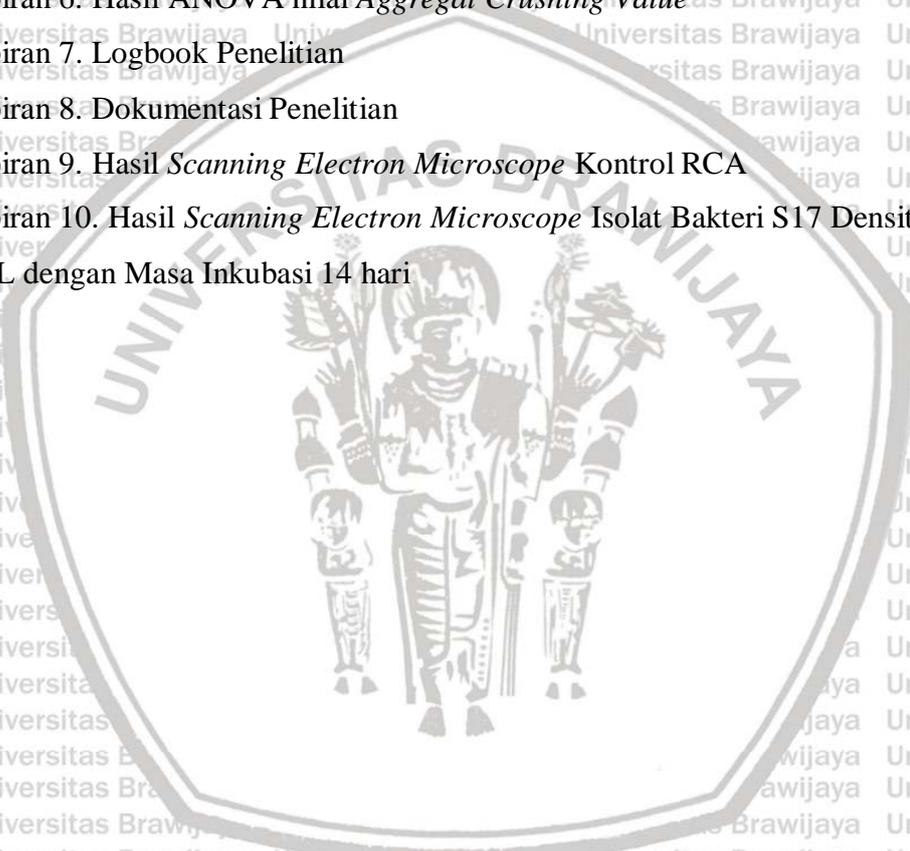
Gambar 4.18. Grafik Penyerapan R20 – 10⁷..... 45

Gambar 4.19. Grafik ACV S17..... 48

Gambar 4.20. Grafik ACV R20..... 49

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Rekap Data Hasil Penelitian Isolat Bakteri S17
- Lampiran 2. Rekap Data Hasil Penelitian Isolat Bakteri R20
- Lampiran 3. Hasil ANOVA nilai Peningkatan Berat Isi Agregat Daur Ulang
- Lampiran 4. Hasil ANOVA nilai Peningkatan Berat Jenis Agregat Daur Ulang
- Lampiran 5. Hasil ANOVA nilai Penurunan Penyerapan Agregat Daur Ulang
- Lampiran 6. Hasil ANOVA nilai *Aggregat Crushing Value*
- Lampiran 7. Logbook Penelitian
- Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 9. Hasil *Scanning Electron Microscope* Kontrol RCA
- Lampiran 10. Hasil *Scanning Electron Microscope* Isolat Bakteri S17 Densitas Sel 10^5 sel/mL dengan Masa Inkubasi 14 hari



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan gedung maupun infrastruktur di Indonesia semakin berkembang, sehingga menyebabkan permintaan akan material konstruksi semakin tinggi, baik berupa semen, agregat kasar, maupun agregat halus. Pada umumnya pada dunia konstruksi untuk agregat kasar dan halus menggunakan material-material alami, seiring dengan berjalannya waktu sumber daya alam Indonesia akan habis apabila terus menerus digunakan untuk material pembangunan, oleh sebab itu diperlukannya langkah-langkah untuk mengurangi penggunaan material alam tersebut. Dunia konstruksi juga menjadi penghasil utama limbah agregat ketika dilakukan pembuatan benda uji untuk menguji kuat tekan beton pada suatu proyek pembangunan. Setiap tahun di seluruh dunia, selama lebih dari satu dekade, telah diproduksi lebih dari 1 m³ beton per kapita. Hal tersebut membutuhkan penggunaan semen lebih dari 2 miliar ton atau sekitar 7% dari emisi karbon dioksida global (diperkirakan berjumlah sekitar 30 miliar ton) (Grabiec dkk., 2012). Selain itu, sebagian besar agregat yang digunakan sebagai bahan pembuatan beton berasal dari alam, seperti tambang, dasar sungai dan laut, yang dapat menyebabkan terjadinya tekanan ekologis (Joseph dkk., 2015). Pengujian kuat tekan beton akan menghasilkan pecahan beton dalam jumlah yang besar pada proyek pembangunan yang berskala besar. Tingkat produksi tahunan limbah konstruksi hingga tahun 2016 yaitu 145 juta ton di seluruh dunia. Penimbunan limbah tersebut membutuhkan area yang sangat besar. Oleh karena itu, upaya daur ulang beton sangatlah dibutuhkan untuk mengurangi jumlah lahan terbuka yang dibutuhkan untuk penimbunan limbah agregat dan juga untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Pembangunan yang ada akan memiliki dampak terhadap lingkungan, dampak yang terjadi yaitu lingkungan akan rusak. Untuk menanggulangi dampak tersebut diperlukan inovasi pemanfaatan material bangunan dengan tepat agar dapat menghasilkan bangunan yang ramah lingkungan.

Daur ulang beton merupakan upaya penggunaan kembali agregat beton yang dihasilkan dari pembongkaran suatu bangunan. Beberapa manfaat dalam melakukan daur ulang beton diantaranya dapat mengatasi yang telah ada sebelumnya, seperti mengurangi konsumsi energi, polusi, pemanasan global, emisi gas rumah kaca, dan biaya yang dikeluarkan (Sahoo dkk., 2016).

Mortar dari beton induk diketahui tetap melekat pada agregat beton daur ulang. Kandungan mortar yang melekat pada agregat daur ulang dapat meningkatkan porositas atau berpori, dan juga menyebabkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, sehingga dapat menghasilkan penyerapan air maupun unsur-unsur kimia agresif lebih mudah masuk dan mengakibatkan beton rusak sehingga dapat dihancurkan dengan lebih mudah. Agregat daur ulang juga terdapat retak mikro, retak tersebut dapat ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu maupun pemecahan secara manual pada saat produksi agregat daur ulang. Retakan tersebut dapat muncul karena tertahan oleh mortar yang menyelimuti agregat alam (Suharwanto, 2005 dalam Susanto, 2008). Beberapa perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat (propertis) material beton yang dihasilkan (Suharwanto, 2005 dalam Susanto, 2008).

Untuk meningkatkan kualitas agregat daur ulang pada umumnya dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu penghilangan dan penguatan mortar. Namun, dari beberapa metode memiliki kekurangan dalam penerapannya. Salah satu metode yang dapat diterapkan yaitu dengan perendaman asam juga dapat meningkatkan kualitas agregat daur ulang karena mortar dapat terlarut dalam larutan asam tersebut. Namun, perlakuan tersebut juga membutuhkan biaya yang cukup banyak dan menjadi faktor penghambat dalam menerapkannya (Wu dkk., 2018).

Selain metode diatas ada juga metode lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas agregat daur ulang yaitu melibatkan kemampuan bakteri dalam menghasilkan kalsium karbonat. Bakteri yang dapat memproduksi urease dapat digunakan dalam mengatasi masalah yang terkait dalam daur ulang beton. Bakteri ureolitik merupakan mikroorganisme yang paling umum digunakan, bakteri ini dapat memodifikasi agregat daur ulang karena kemampuannya dalam mengendapkan CaCO_3 melalui aktivitas urease yang mengkatalisis hidrolisis urea menjadi amonium dan karbonat. Produk tersebut selanjutnya akan membentuk ion bikarbonat, amonium, dan hidroksida. Reaksi ini mengakibatkan peningkatan pH lingkungan dan pembentukan ion karbonat. Ion karbonat akan bereaksi dengan kalsium yang tersedia sehingga terbentuk endapan CaCO_3 . Akumulasi CaCO_3 dapat meningkatkan impermeabilitas dan mengisi pori-pori beton (Sahoo dkk., 2016).

Penelitian beton daur ulang yang dilakukan dengan melibatkan bakteri ureolitik telah dilakukan di beberapa negara di dunia, namun jumlahnya masih sedikit. Sebuah penelitian yang dilakukan di Cina memanfaatkan *Bacillus pseudofirmus* (DSm8715) untuk meningkatkan kualitas beton daur ulang yang didapatkan dari bangunan yang dibongkar. Kualitas beton yang diuji yaitu penyerapan air, nilai penghancuran, kepadatan, dan zona transisi antar muka (ITZ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton daur ulang yang diberi perlakuan menggunakan bakteri memiliki kualitas yang lebih baik daripada agregat daur ulang yang tidak diberi perlakuan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa beton dengan beton daur ulang yang tidak diberikan perlakuan memiliki kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan beton dengan agregat alam (Wu dkk., 2018).

Di Indonesia penelitian mengenai penggunaan bakteri ureolitik untuk meningkatkan kualitas dari agregat daur ulang hingga saat ini masih belum pernah dilakukan. Penelitian sebelumnya telah dilakukan namun hanya sampai pada tahap uji potensi bakteri ureolitik. Hasil penelitian tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut dengan lebih mengeksplorasi bakteri ureolitik yang memiliki potensi besar dapat mengendapkan CaCO_3 . Upaya eksplorasi bakteri ureolitik yang berpotensi untuk mengendapkan CaCO_3 telah dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Bakteri yang diperoleh, telah terbukti dapat membentuk endapan CaCO_3 di dalam medium pertumbuhannya. Namun bakteri tersebut masih perlu diuji coba terlebih dahulu untuk melihat potensinya dalam meningkatkan kualitas agregat daur ulang pada skala laboratorium sebelum diaplikasikan dalam skala besar.

1.2. Identifikasi Masalah

Mengacu pada permasalahan yang terjadi di Indonesia saat ini, maka diperlukan penelitian mengenai pengaruh penambahan zat aditif berupa bakteri ureolitik terhadap berat volume dan penyerapan agregat daur ulang serta kekuatan agregat daur ulang terhadap tekanan dengan memperhatikan fungsi dan tujuan penelitian.

1.3. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari pengendapan CaCO_3 oleh bakteri ureolitik terhadap berat volume dan penyerapan agregat daur ulang?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 pada kekuatan dari agregat daur ulang terhadap tekanan?

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 terhadap berat volume dan penyerapan agregat daur ulang serta kekuatan agregat daur ulang terhadap tekanan. Maka fokus substansi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persentase penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 yang sebaiknya digunakan untuk meningkatkan kekuatan tekan agregat kasar beton dan pengaruhnya terhadap berat volume dan penyerapan dari agregat kasar beton daur ulang.
2. Pengujian dan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya dengan menggunakan benda uji agregat kasar sebanyak 500gr dalam satu benda uji.
3. Agregat kasar yang digunakan berasal dari industri pemecah batuan yang berada di daerah Tunggulwulung, Kota Malang dengan ukuran 1 cm – 1,4 cm
4. Densitas sel bakteri pengendap CaCO_3 yang digunakan yaitu 10^5 , 10^6 , 10^7 sel/mL.
5. Jumlah air yang digunakan untuk campuran bakteri pengendap CaCO_3 yaitu 500 MI untuk satu benda uji.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini mengacu pada rumusan masalah diatas adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 terhadap Penyerapan, Berat Volume (*Density*) dan kekuatan agregat daur ulang terhadap tekanan.

1.6. Manfaat Hasil Penelitian

Hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 terhadap Kekuatan agregat terhadap tekanan, Berat Volume, dan Penyerapan pada agregat kasar beton daur ulang diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Penelitian ini dapat memberikan pengetahuan mengenai bagaimana pengaruh penggunaan bakteri pengendap CaCO_3 terhadap penyerapan, berat volume (*density*) dan kekuatan agregat daur ulang terhadap tekanan.
2. Penelitian ini dapat dijadikan acuan penelitian selanjutnya mengenai salah satu bahan konstruksi ramah lingkungan.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Agregat penyusun beton biasanya berasal dari batu alam yang diperoleh dari industri pemecah batu. Semen dan air membentuk pasta semen yang memiliki fungsi menjadi bahan pengikat, agregat kasar dan halus memiliki fungsi untuk bahan pengisi dan penguat. Macam-macam jenis ukuran agregat dalam suatu campuran harus memiliki gradasi yang baik sesuai dengan standart analisa saringan dari ASTM. Untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerjaan maka diperlukan adanya penambahan zat aditif (Mc. Cormac, 2004).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), macam – macam beton sebagai berikut :

a. Beton normal

Yang dimaksud beton normal yaitu beton yang memiliki berat volume 2400 kg/m³ dan memiliki nilai kuat tekan 15 – 40 MPa.

b. Beton ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat kurang dari 1800 kg/m³ dengan nilai kuat tekan lebih kecil dari beton normal.

c. Beton massa

Beton massa adalah beton yang dituang dalam jumlah besar dan biasanya disebut beton massa apabila memiliki dimensi lebih dari 60 cm.

d. Beton bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit antara beton dan baja sebagai tulangan. Beton bertulang saat ini dapat mengandung beragam penguat yang terbuat dari baja, polimer dan lain sebagainya.

2.2. Karakteristik Beton

Beton merupakan bahan yang bersifat getas dan memiliki ketahanan terhadap gaya tekan dibandingkan gaya tarik yang hanya berkisar 9% - 15% dibandingkan kuat tekannya.

Pengaplikasian beton di lapangan digunakan beton komposit dengan tulangan baja didalamnya untuk menutupi kelemahannya terhadap gaya tarik.

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton memiliki beberapa karakteristik yang sering digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :

a. Kekuatan

Sifat beton sangat dipengaruhi oleh kuat tekan dari beton itu sendiri. Macam-macam beton menurut kuat tekannya dibagi menjadi beberapa macam seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Kuat Tekan Beton

Jenis Beton	Kuat tekan (Mpa)
Beton Sederhana	≤ 10
Beton Normal	15 – 30
Beton Pra-tegang	30 – 40
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80
Beton kuat tekan sangat tinggi	≥ 80

Sumber : Tjokrodimulyo, 2007

b. Berat Jenis

Tabel 2. 2 Berat Jenis Beton

Jenis Beton	Berat Jenis	Aplikasi
Beton Sangat ringan	$\leq 1,00$	Non Struktural
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur Ringan
Beton normal	2,30 – 2,40	Struktur
Beton berat	$\geq 3,00$	Perisai Sinar X

Sumber : Tjokrodimulyo, 2007

c. Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton merupakan tolak ukur dari sifat elastis suatu bahan.

Didapatkan dari perbandingan tekanan yang diberikan dengan perubahan

bentuk per satuan panjang sebagai akibat dari tekanan yang diberikan (Murdock dan Brook, 1986).

Tabel 2. 3 Modulus Elastisitas Beton

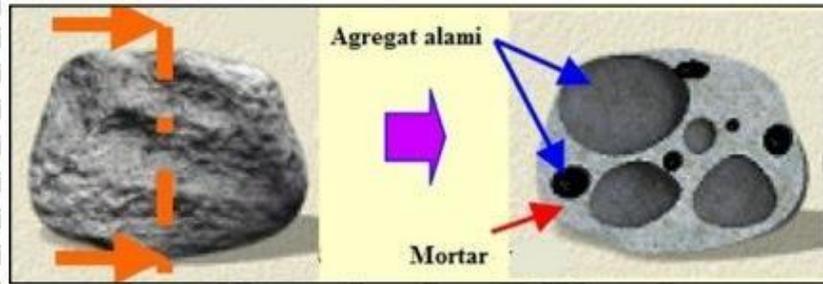
Kubus (K)	Silinder (fc')	Modulus (E) MPa
kg/cm ²	MPa	
175	15	18.203
225	19	20.487
275	23	22.540
300	25	23.500
350	29	25.310
400	33	26.999

2.3. Agregat Daur Ulang

Sejalan dengan meningkatnya pembangunan, sehingga permintaan beton sebagai bahan konstruksi semakin meningkat, demikianpun halnya dengan material pembentuk beton. Hal ini menyebabkan semakin tingginya permintaan akan material yang disediakan oleh alam.

ACI Educational Bulletin EI-07 (2007) menjelaskan bahwa agregat daur ulang merupakan agregat yang didapatkan dari beton yang rusak, dibuang tulangnya dan dihancurkan dalam ukuran dan gradasi yang lebih spesifik.

Berdasarkan beberapa hasil studi eksperimental, agregat daur ulang yang berupa agregat kasar memiliki kandungan mortar sebesar 25% hingga 45%, sedangkan agregat daur ulang berupa agregat halus memiliki kandungan mortar 70% hingga 100%. Kandungan mortar tersebut mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, dan lebih berpori, sehingga kekerasannya berkurang, bidang temu (interface) yang bertambah, dan unsur-unsur kimia agresif lebih mudah masuk dan merusak.



Gambar 2.1 potongan pada agregat kasar

Dapat dilihat pada gambar di atas, terdapat retak mikro pada potongan agregat daur ulang, dimana retak tersebut dapat ditimbulkan ketika proses produksi pemecahan agregat daur ulang, yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada agregat alam. Retakan tersebut disebabkan oleh tertahannya karena kekangan mortar yang menyelimuti agregat alam.

2.3.1. Sifat Fisik dan Kimia Agregat Daur Ulang

Agregat daur ulang memiliki perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang menyebabkan perbedaan sifat-sifat (propertis) material beton yang dihasilkan. Perbedaan yang diamati diantaranya adalah menurunnya kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tariknya. Selain itu kemiringan kurva hubungan tegangan-regangan uniaksial dan multiaksial menjadi landai pada saat sebelum beban puncak dan menjadi curam setelah beban puncak. Hal ini diakibatkan oleh lemahnya ketegaran retak dan bertambahnya jumlah bidang temu, yang memperlemah ikatan antara agregat kasar dan mortar.

Perbedaan sifat-sifat material beton agregat daur ulang mengakibatkan beberapa perbedaan persamaan yang menggambarkan hubungan anatara kuat tarik dan kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tekan, dan model konstitutif tegangan-regangan beton uniaksial, tegangan-regangan puncak multiaksial. Beberapa persamaan dan model konstitutif telah diperoleh dari hasil studi eksperimental untuk menggambarkan perbedaan sifat-sifat dan perilaku mekanik beton agregat daur ulang.

Perbedaan kinerja dan perilaku mekanik elemen struktur tersebut diantaranya adalah kemampuan deformabilitas, nilai daktilitas, nilai kekakuan, dan pola retak.

Deformabilitas elemen struktur beton agregat daur ulang menjadi lebih besar pada

saat beban yang sama, nilai daktilitas dan kekakuan menjadi kecil, dan pola retak menjadi lebih banyak hingga ke daerah momen dan geser (antara perletakan dan titik beban). Bila dibandingkan dengan kinerja dan perilaku beton agregat alam.

Hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan Ahmad Junaidi (2015) didapat kuat tekan beton karakteristik untuk beton yang menggunakan agregat kasar split alam dengan ukuran 10-20 mm, 20-30 mm, secara berturut-turut adalah 251,2 kg/cm², dan 237,155 kg/cm².

Hasil pengujian kuat tekan SCC pada penelitian Kurnia Widiatoro (2011) menunjukkan bahwa apabila dikombinasikan dengan agregat alami pecah, agregat daur ulang dapat menurunkan nilai kuat tekan sebesar 12,26% (dari 50,74 Mpa menjadi 44,52 Mpa).

2.4. Bakteri Ureolitik

Bakteri ureolitik merupakan jenis bakteri yang mampu menghasilkan enzim urease (Krajewska, 2018). Dari empat puluh satu bakteri, hanya sedikit yang diketahui menghasilkan enzim urease. Sebagian besar bakteri penghasil urease yang telah dilaporkan menginduksi presipitat CaCO₃ dan telah digunakan untuk aplikasi MICP adalah genus *Bacillus*. Bakteri ureolitik yang telah dilaporkan dalam literatur untuk aplikasi MICP adalah *Bacillus sphaericus* dan *Sporosarcina pasteurii* digunakan untuk mengatasi keretakan beton (De-Belie dan De-Muyneck, 2008, Ramachandran et al., 2001, De-Muyneck et al., 2008); *Bacillus pseudifirmus* dan *Bacillus cohnii* digunakan pada permukaan beton (Jonkers dan Schlangen, 2007, Jonkers, 2007); dan *Bacillus cereus* dan *Shewanella* sebagai mortar semen (Achal et al., 2011, Achal dan Pan, 2011, Ramachandran et al., 2001). Aktivitas metabolik bakteri ureolitik dalam beton diketahui bertanggung jawab terhadap peningkatan kualitas beton. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agen mikroba, *Sporosarcina pasteurii*, pada retakan beton memberikan peningkatan kekuatan tekan yang signifikan.

Pengamatan mikroskopi menunjukkan adanya keberadaan kristal kalsit dan sel mikroba di dekat permukaan retakan. Sel mikroba tersebut diketahui memiliki

ketahanan yang cukup terhadap alkalinitas tinggi, bahkan setelah dicampur dalam adonan semen dengan suhu tinggi selama proses produksi beton.

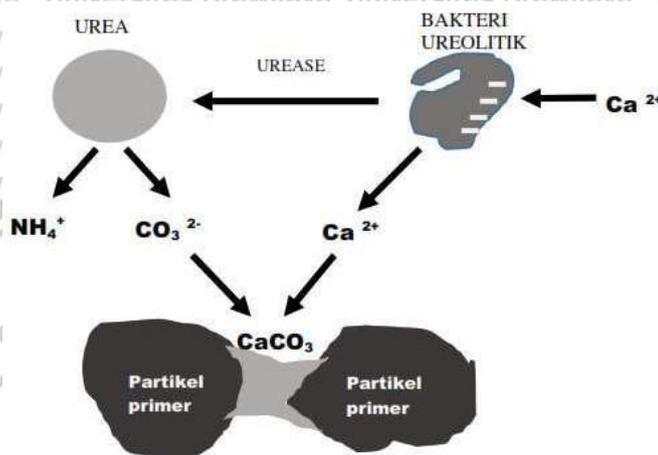
Mineralisasi karbonat yang diinduksi oleh bakteri merupakan strategi baru dan ramah lingkungan yang dapat digunakan dalam perbaikan Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu mineral yang paling umum di bumi (Al-Thawadi, 2011). Kalsium karbonat merupakan produk utama dari semua mineral yang dihasilkan oleh biomineralisasi di alam (Krajewska, 2018).

Pengendapan alami CaCO_3 bisa terjadi karena adanya peningkatan konsentrasi atau penurunan tingkat kelarutan kalsium atau karbonat dalam suatu larutan. Bakteri dengan konsentrasi tinggi dapat menghasilkan lebih banyak urease per unit volume untuk memulai hidrolisis urea. Selain itu, faktor abiotik (seperti perubahan suhu) dan faktor biotik (seperti aksi mikroba) juga berpengaruh dalam presipitasi CaCO_3 (Al-Thawadi, 2011). Presipitasi kristal CaCO_3 dapat terjadi melalui nukleasi heterogen pada dinding sel bakteri setelah mencapai keadaan supersaturasi (Siddique & Chahal, 2011). Kristal CaCO_3 dapat dibedakan menjadi 3 bentuk diantaranya kalsit, aragonit, dan vaterit. Kalsit memiliki bentuk rombohedral sederhana yang pembentukannya didukung oleh keberadaan magnesium, ion mangan, dan ortofosfat. Aragonit merupakan bentuk lain CaCO_3 yang memiliki bentuk berupa kristal ortorombik. Aragonit dapat diperoleh pada suhu tinggi atau rendah dengan keberadaan ion magnesium dan kondisi pH kurang dari 11. Bentuk lain CaCO_3 yang selanjutnya yaitu vaterite, yang jarang ditemukan di alam yang dan dihasilkan pada kondisi pH berkisar 8,5 hingga 10, konsentrasi Ca^{2+} rendah, atau suhu rendah dan konsentrasi Ca^{2+} tinggi. Morfologi vaterite sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan pH (Al-Thawadi, 2011).

Berbagai spesies mikroba mampu melakukan pengendapan mineral karbonat di berbagai lingkungan alami termasuk tanah, air tawar atau danau, dan air laut (Siddique & Chahal, 2011). Terdapat beberapa jenis mineral CaCO_3 yang berasosiasi dengan bakteri, seperti pembentukan vaterit oleh *Acinobacter* sp., serta kalsit oleh *Escherichia coli* dan *Myxococcus xanthus* (Al-Thawadi, 2011).

Bakteri yang mampu menghasilkan enzim urease akan menunjukkan perubahan warna pada medium uji aktivitas enzim urease dari warna kuning menjadi

merah muda. Perubahan warna yang terjadi menjadi dasar penentuan adanya aktivitas enzim urease oleh bakteri. Perubahan warna mengindikasikan perubahan pH 7,0 (normal) yang di uji dengan indikator phenol red. Berubahnya media yang mulanya berwarna kuning menjadi pink atau merah muda merupakan peningkatan pH menjadi basah (Gusmawati dkk, 2001).



Gambar 2.2. Proses presipitasi CaCO_3

Berbagai aplikasi bakteri ureolitik dalam beton, selain untuk memperbaiki adanya retakan, dapat dilihat pada Tabel 1. (Siddique & Chahal, 2011).

Tabel 1. Variasi aplikasi mikroba dalam beton

Applications	Types of bacteria
Microbial concrete as crack healer	<i>Bacillus pasteurii</i> <i>Deleya halophila</i> <i>Halomonas eurihalina</i> <i>Myxococcus xanthus</i> <i>Bacillus megaterium</i>
Microbial concrete as surface treatment	<i>Bacillus sphaericus</i>
Microbial concrete as water purifier	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus sphaericus</i> <i>Thiobacillus</i>

Sebuah penelitian menunjukkan bahwa pemberian biomassa mikroba, yaitu *S. pasteurii*, dapat meningkatkan kuat tekan pada beton. Sel hidup dan sel mati dari bakteri ini dapat digunakan dengan konsentrasi dan masa inkubasi yang berbeda dan menunjukkan bahwa sel hidup dengan konsentrasi lebih rendah dan masa inkubasi

yang lebih lama mengalami peningkatan kekuatan tekan beton yang lebih tinggi dari perlakuan lain yang diberikan (Siddique & Chahal, 2011).

2.5. Pengujian Agregat Kasar

2.5.1. Pengujian Penyerapan dan Berat Jenis

Berdasarkan pelaksanaannya berat jenis curah adalah suatu sifat yang pada umumnya digunakan dalam menghitung volume yang ditempati oleh agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat termasuk beton semen, beton aspal dan campuran lain yang diproporsikan atau dianalisis berdasarkan volume absolut. Berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi jenuh kering permukaan digunakan apabila agregat dalam keadaan basah yaitu pada kondisi penyerapannya sudah terpenuhi. Sedangkan berat jenis curah yang ditentukan dari kondisi kering oven digunakan untuk menghitung ketika agregat dalam keadaan kering atau diasumsikan kering.

Berat jenis semu (apparent) adalah kepadatan relatif dari bahan padat yang membuat partikel pokok tidak termasuk ruang pori di antara partikel tersebut dapat dimasuki oleh air.

Angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel utama dibandingkan dengan pada saat kondisi kering, ketika agregat tersebut dianggap telah cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap penuh. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering ke dalam air selama (24+4) jam.

Prosedur umum yang digambarkan dalam cara uji ini cocok untuk digunakan dalam menentukan penyerapan agregat yang dikondisikan dengan cara uji yang berbeda dengan perendaman selama (24+4) jam, seperti penggunaan pompa hampa udara atau kondisi air mendidih. Namun nilai yang didapat untuk penyerapan akan berbeda, berat jenis curah pada kondisi jenuh kering permukaan.

Pori pada agregat ringan mungkin tidak dapat benar-benar terisi dengan air atau sebaliknya setelah perendaman selama (24+4) jam. Pada kenyataannya beberapa jenis agregat, tetap saja tidak akan mencapai potensi penyerapan yang sebenarnya walaupun setelah direndam selama beberapa hari. Oleh karena itu, cara uji ini tidak untuk digunakan dalam pemeriksaan agregat ringan.

2.5.1.1. Peralatan

- Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No.6) atau 2,36 mm (No.8) dengan kapasitas ± 5 kg.
- Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan.
- Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,1% dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- Oven pengatur suhu kapasitas $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- Alat pemisah contoh.
- Saringan no. 4 (4,75 mm).

2.5.1.2. Pelaksanaan Pengujian

- a. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
- c. Dinginkan pada suhu kamar selama (1-3) jam, lalu ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk).
- d. Rendam benda uji pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam.
- e. Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap.
- f. Timbang benda uji jenuh kering permukaan (Bj).
- g. Letakkan benda uji di dalam keranjang, goncangkan batunya untuk mengeluarkan udara dan tentukan beratnya didalam air (Ba), ukur suhu air sesuai suhu standar (25°C) .

2.5.1.3. Perhitungan

Bk = berat benda uji kering oven (gr).

Bj = berat benda uji jenuh kering permukaan (gr).

Bt = berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (gr).

	B_k (gr)	B_j (gr)	B_t (gr)
Benda Uji A	4997,3	5159,0	3045,6
Benda Uji B	4996,0	5139,3	3047,2

$$\text{a. Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)}$$

$$\text{Benda Uji A} = \frac{4997,3}{(5159,0 - 3045,6)} = 2,36$$

$$\text{Benda Uji B} = \frac{4996,0}{(5139,3 - 3047,2)} = 2,39$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,36 + 2,39}{2} = 2,375 = 2,38$$

$$\text{b. Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B_i}{(B_j - B_a)}$$

$$\text{Benda Uji A} = \frac{5159,0}{(5159,0 - 3045,6)} = 2,44$$

$$\text{Benda Uji B} = \frac{5139,3}{(5139,3 - 3047,2)} = 2,46$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,44 + 2,46}{2} = 2,45$$

$$\text{c. Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)}$$

$$\text{Benda Uji A} = \frac{4997,3}{(4997,3 - 3045,6)} = 2,56$$

$$\text{Benda Uji B} = \frac{4996,0}{(4996,0 - 3047,2)} = 2,56$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,56 + 2,56}{2} = 2,56$$

$$\text{d. Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

$$\text{Benda uji A} = \frac{5159,0 - 4997,3}{4997,3} \times 100\% = 3,24\%$$

$$\text{Benda uji B} = \frac{5139,3 - 4996,0}{4996,0} \times 100\% = 2,87\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{3,24\% + 2,87\%}{2} = 3,06\%$$

2.5.2. Pengujian Berat Isi

Berat isi (Bulk Density) merupakan berat agregat utuh dalam keadaan kering dibagi dengan volume, dinyatakan dalam g/cm³ (g/cc). Berat isi agregat bervariasi tergantung pada kerekatan dan padatan antara partikel – partikel tanah (pasir, debu, dan liat) dan sangat mempengaruhi perakaran tanaman.

Tujuan pengujian berat isi adalah untuk mengetahui volume produksi campuran beton, kadar semen yang digunakan dan kadar udara dalam beton dalam suatu campuran beton segar.

2.5.2.1. Peralatan

- Timbangan kapasitas 1 kg dengan ketelitian 0,1 gr.
- Tongkat penusuk baja, panjang 600 mm dan diameter 16 mm.
- Kotak takar.

2.5.2.2. Pelaksanaan Pengujian

- a. Agregat sesudah direndam selama 24 jam, permukaannya disapu dengan lap basah.
- b. Timbang kotak takar kosong.
- c. Timbang kotak takar berisi air penuh.
- d. Isi masing-masing kotak takar dengan benda uji dalam 3 lapisan sama tebal, dimana tiap lapisan ditusuk-tusuk 25 kali. Cara ini disebut RODDING.
- e. Ratakan muka bahannya dengan tangan atau mistar.
- f. Timbang kotak takar yang berisi benda uji.
- g. Kosongkan kotak takar dan isi lagi dengan benda uji yang dimasukkan dengan singkup dan tinggi tidak lebih dari 2inci (2”) diatas kotak takar. Cara ini disebut SHOVELING.

h. Ratakan muka benda uji dengan tangan atau kistar.

i. Timbang kotak takar yang berisi benda uji.

2.5.2.3. Pembahasan

a. Berat isi cara RODDED > dari berat isi cara SHOVELED. Hal ini dikarenakan tusukan-tusukan sehingga volume menjadi lebih padat dan berat isi menjadi lebih besar.

b. Berat isi juga dipengaruhi oleh gradasi butiran.

c. Bila bentuk butiran agregat bulat, maka gesekan antar butiran adalah kecil sehingga berat isi menjadi besar. Sebaliknya apabila butiran agregat adalah batu pecah, maka berat isi akan menjadi kecil.

2.5.2.4. Perhitungan

$$y = \frac{W_3}{V}$$

y = berat isi agregat (gr/m³)

W₃ = berat agregat (gr)

V = volume wadah ukur (m³)

2.5.3. Pengujian Aggregate Crushing Value

2.5.3.1. Tujuan Percobaan

Tujuan percobaan ini yaitu:

1. Memberikan kemampuan kepada mahasiswa untuk dapat menentukan nilai kekuatan agregat terhadap tekanan.
2. Setelah melakukan praktikum ini diharapkan mahasiswa mampu mengukur kekuatan *relative load* agregat terhadap tekanan (*crushing*) dengan menyatakan nilai *Aggregate Crushing Value* (ACV).

2.5.3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan percobaan yang digunakan pada praktikum kali ini adalah:

- **Alat-alat Percobaan**

Alat yang digunakan pada praktikum kali ini adalah:

1. Satu set *Aggregate Crushing Machine* dengan mesin penekan (*Compression Machine*) yang memiliki kapasitas untuk gaya sebesar 400 kN (40 ton) dan dapat dioperasikan untuk kekuatan agregat terhadap tekanan (*Aggregate Crushing Value*).
2. Silinder pengujian terbuat dari baja, yaitu tempat sampel berbentuk silinder dengan alas dan ukuran tertentu.
3. Saringan dengan diameter 14,0 mm ; 10,0 mm ; dan 2,36 mm
4. Besi penusuk dengan panjang antara 450 mm sampai 600 mm serta memiliki potongan melintang lingkaran berdiameter 16 mm.
5. Plunger (penekan)
6. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.



Gambar 2.3. Silinder baja, besi penusuk dan plunger



Gambar 2.4. Alat Compression

- **Benda Uji**

Sampel yang dipakai yaitu agregat yang lolos dari saringan 14,0 mm dan yang tertahan oleh saringan 10,00 mm. untuk setiap pengujian dibuat dua sampel.

— Saring sekitar 1000gr agregat pada urutan saringan 14,00 mm dan 10,0 mm selama 10 menit. Sampel yang diambil adalah agregat yang lolos saringan 14,0 mm dan tertahan di 10,0 mm.

— Cuci sampel dengan air yang mengalir dan keringkan dalam oven (110°C) selama 4 jam (kondisi kering oven).

— Setelah suhu turun (atau sama dengan suhu ruangan, 25°C) sampel siap untuk digunakan.

2.5.3.3. Langkah-langkah Pengujian

1. Timbang silinder pengujian beserta alas, ketelitian 0,1 gram (W_1).
2. Isilah silinder dengan sampel dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan besi penusuk secara merata di seluruh permukaan. Tiap lapis, tongkat dijatuhkan secara bebas dengan ketinggian tidak lebih dari ($>$) 5 cm dari permukaan lapisan. Pada lapis terakhir, isi cukup dengan agregat agak menyembul dan padatkan.
3. Ratakan permukaan sampel dengan besi penusuk dan timbang (W_2).
4. Hitunglah berat awal sampel ($A' = W_2 - W_1$).
5. Letakan mesin Crushing Agregat pada lantai datar dan keras, seperti lantai beton.
6. Letakan silinder pengujian pada baseplate dan atur plunger (penekan) di atasnya.
7. Kemudian sampel ditekan melalui plunger dengan mesin penekan yang diberi gaya dengan kecepatan mencapai $400 \text{ kN} = 40 \text{ ton}$ selama 10 menit.
8. Lepaskan beban dan pindahkan benda uji yang sudah ditekan pada sebuah wadah. Pastikan tidak ada partikel yang hilang selama pemindahan atau yang tertinggal di dalam silinder.
9. Saring benda uji dengan saringan 2,36 mm selama satu menit, dan timbang berat yang lolos dengan ketelitian 0,1 gram yang dinyatakan sebagai B gr. Pastikan tidak ada partikel yang hilang selama proses tersebut. Jika jumlah berat agregat yang lolos dan tertahan saringan 2,36 mm berbeda 1 gram dengan A, maka pengujian harus diulangi.
10. Ulangi prosedur tersebut untuk sisa sampel berikutnya.

2.5.3.4. Perhitungan

Aggregate Crushing Value (ACV) dihitung dengan rumus :

$$ACV = \frac{B}{A} \times 100\%$$

Dimana:

ACV = Aggregate Crushing Value (%)

A = Berat awal sampel (gr)

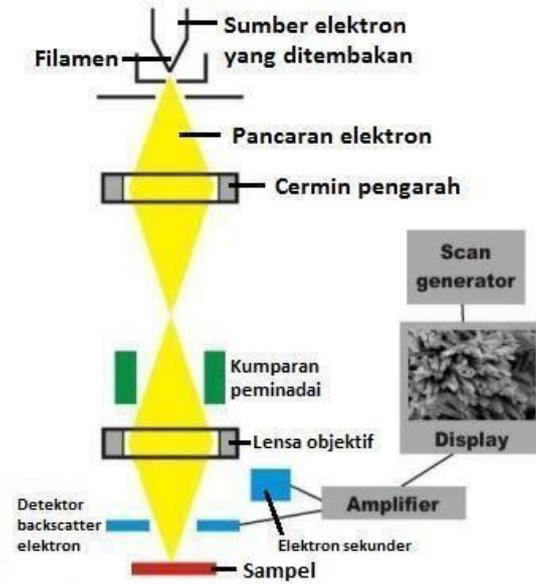
B = Berat sampel lolos saringan 2,36 mm (gr)

Nilai ACV dilaporkan dalam presentase bilangan bulat.

2.5.4. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning electron microscope (SEM) merupakan suatu alat yang menyerupai mikroskop elektron yang digunakan untuk melihat dan menyelidiki permukaan suatu objek secara langsung. Dengan SEM kita dapat melihat objek dengan perbesaran mulai dari 10x hingga 3000000x. Pemeriksaan SEM dapat menghasilkan informasi topografi (permukaan fitur objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel objek), komposisi, (unsur dan senyawa pada objek), dan informasi kristalografi (bagaimana atom diatur di dalam objek). Prinsip kerja, dari SEM adalah sebagai berikut:

1. Pistol elektron memproduksi, sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju sampel benda uji.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika sinar elektron, mengenai sampel, maka sampel tersebut akan mengeluarkan elektron baru yang kemudian diterima oleh detektor dan selanjutnya dikirim ke monitor.



Gambar 2.5. Skema SEM

2.6. Hipotesis

Anggapan dasar ditarik berdasarkan penelitian – penelitian pendahulu yang telah menjelaskan mengenai kekurangan kualitas agregat daur ulang yaitu pada berat jenis, penyerapan, berat isi dan juga kekuatan agregat daur ulang dalam menahan beban tekan. Maka dapat ditarik anggapan sebagai berikut:

- Penambahan bakteri pengendap CaCO_3 dapat meningkatkan kualitas dari agregat daur ulang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya dan waktu penelitian dilaksanakan pada Maret tahun ajaran 2020/2021.

3.2. Variabel Penelitian

Mengacu dari tujuan penelitian dan tinjauan teori diatas, variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian Upaya Peningkatan Kualitas Agregat Daur Ulang Dengan Menggunakan Bakteri Pengendap CaCO_3 ialah sebagai berikut:

a. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

- Isolat bakteri ureolitik
- Konsentrasi Bakteri Pengendap CaCO_3
- Media nutrisi bakteri

b. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

- Pengujian penyerapan, berat jenis, dan berat isi agregat daur ulang
- Pengujian kuat tekan agregat

c. Variabel Terkontrol (*Control Variable*)

- Agregat kasar dengan ukuran 1,0 cm sampai 1,4 cm
- Perlakuan benda uji dilakukan selama 7, 14 dan 21 hari
- Pengujian dilakukan saat sebelum dan sesudah diberikan perlakuan terhadap benda uji

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat Penelitian

Untuk melaksanakan pengujian penyerapan, berat jenis, berat isi dan kuat tekan dari agregat daur ulang diperlukan peralatan sebagai berikut :

- Ayakan berukuran 1,0 cm – 1,4 cm
- Timbangan dengan ketelitian 1 gr dan 100 gr
- Mesin oven
- Satu set alat uji pengerapan, berat jenis, dan berat isi agregat
- Satu set alat uji *Aggregate Crushing Value*
- Sekop dan cetok
- Wadah kedap air
- Alat tulis

3.3.2. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Agregat kasar
- Media nutrisi bakteri ureolitik
- Bakteri pengendap CaCO_3

3.4. Analisis Bahan

3.4.1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari industri pemecah batu di daerah Tunggulwulung – Kota Malang. Selanjutnya agregat disaring untuk memisahkan ukuran. Ukuran yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah 1,0 cm – 1,4 cm. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kualitas agregat kasar.

Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah : berat jenis, berat volume, berat isi, kadar air dan absorpsi.

3.4.2. Air

Dalam penelitian ini menggunakan air PDAM Kota Malang dan dalam keadaan bersih, oleh karena itu tidak dibutuhkan pengujian khusus.

3.4.3. Bakteri Ureolitik Pengendap CaCO₃

Bakteri pengendap CaCO₃ yang digunakan terdiri dari tiga isolat, yaitu

Microbacterium maritypicum (A331), *Micrococcus luteus* (S17), dan R20. Setiap isolat dibagi menjadi 3 densitas sel yaitu 10⁵, 10⁶ dan 10⁷ sel/mL.

3.4.4. Rancangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk penelitian ini adalah agregat kasar hasil daur ulang beton dengan ukuran 1,0 cm sampai 1,4 cm sebanyak 500 gr setiap benda uji.

3.5. Pengujian Bahan Dasar

3.5.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari berat jenis, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan presentase berat air yang mampu diserap pori terhadap berat agregat kasar kering. Pelaksanaan pengujian serta perhitungan berat jenis dan penyerapan berdasarkan SNI 1970:2008.

3.5.2. Pengujian Berat Isi Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat isi agregat kasar yaitu perbandingan berat material kering agregat dengan volumenya. Pemeriksaan ini berdasarkan ASTM C-29.

3.6. Tahapan Pembuatan

3.6.1. Tahap Pemilihan Agregat Daur Ulang

Proses pemilihan agregat daur ulang ini dilakukan dengan menggunakan saringan agregat kasar no. 3/8" dan no. 1/2" dengan ukuran 9,5 mm dan 12,7 mm. agregat yang digunakan adalah agregat yang lolos dari saringan no. 1/2" dan tertahan oleh saringan 3/8"

3.6.2. Pembuatan Benda Uji

Penelitian menggunakan benda uji hanya berupa agregat, tidak sampai membentuk beton. Jumlah berat agregat yang digunakan untuk satu benda uji yaitu seberat 500 gr. Setelah dilakukan pengujian penyerapan, berat jenis dan berat isi agregat diberikan

perlakuan yaitu dengan di rendam dengan media nutrisi yang sudah berisi bakteri pengendap CaCO_3 , perlakuan dilakukan selama 7, 14 dan 21 hari.

Benda uji yang sudah berumur 7, 14 dan 21 hari selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan dengan menggunakan metode *Aggregate Crushing Value*.

3.7. Pengujian Terhadap Agregat Daur Ulang

3.7.1. Pengujian Penyerapan dan Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan dari harga berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (ssd), berat jenis semu dan harga penyerapan dari agregat daur ulang sebelum diberikan perlakuan dan setelah diberikan perlakuan dengan campuran bakteri pengendap CaCO_3 .

3.7.2. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat isi agregat daur ulang sebelum diberikan perlakuan dan setelah diberikan perlakuan dengan campuran bakteri pengendap CaCO_3 . Pengujian ini melihat pengaruh dari unsur bakteri terhadap agregat daur ulang.

3.7.3. Pengujian Kuat Tekan Agregat (*Aggregate Crushing Value*)

Setiap agregat memiliki kuat tekan yang berbeda-beda, baik berupa agregat alami ataupun agregat daur ulang, maka dalam penelitian ini perlu dilakukannya pengujian kuat tekan terhadap agregat daur ulang.

Pengujian dilakukan sebelum agregat diberikan perlakuan dengan campuran bakteri pengendap CaCO_3 sebagai perbandingan dari pengujian kuat tekan agregat setelah diberikan perlakuan bakteri pengendap CaCO_3 selama 7, 14 dan 21 hari.

Pada penelitian ini juga dilihat pengaruh dari hasil pengendapan CaCO_3 oleh bakteri ureolitik apakah berpengaruh terhadap kuat tekan agregat daur ulang.

Pengujian kuat tekan agregat disini menggunakan metode *Aggregate Crushing Value*, agregat yang akan diuji diberikan gaya dengan kecepatan yang seragam mencapai 400 kN selama 10 menit dengan menggunakan mesin penekan.

Aggregate Crushing Value (ACV) dihitung dengan rumus :

$$ACV = \frac{B}{A} \times 100\%$$

Dimana:

ACV = Aggregate Crushing Value (%)

A = Berat awal sampel (gr)

B = Berat sampel lolos saringan 2,36 mm (gr)

Nilai ACV dilaporkan dalam presentase bilangan bulat.

3.8. Tabulasi Hasil Pengujian

Tabel 3. 1 Form Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Nomor contoh	Satuan	Nilai
Berat benda uji jenuh kering permukaan (Bj)	(gr)	
Berat benda uji kering oven (Bk)	(gr)	
Berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (Ba)	(gr)	

Nomor Contoh	Rumus	Nilai
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	$Bk/(Bj-Ba)$	
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (<i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i>)	$Bj/(Bj-Ba)$	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	$Bk/(Bk-Ba)$	
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	

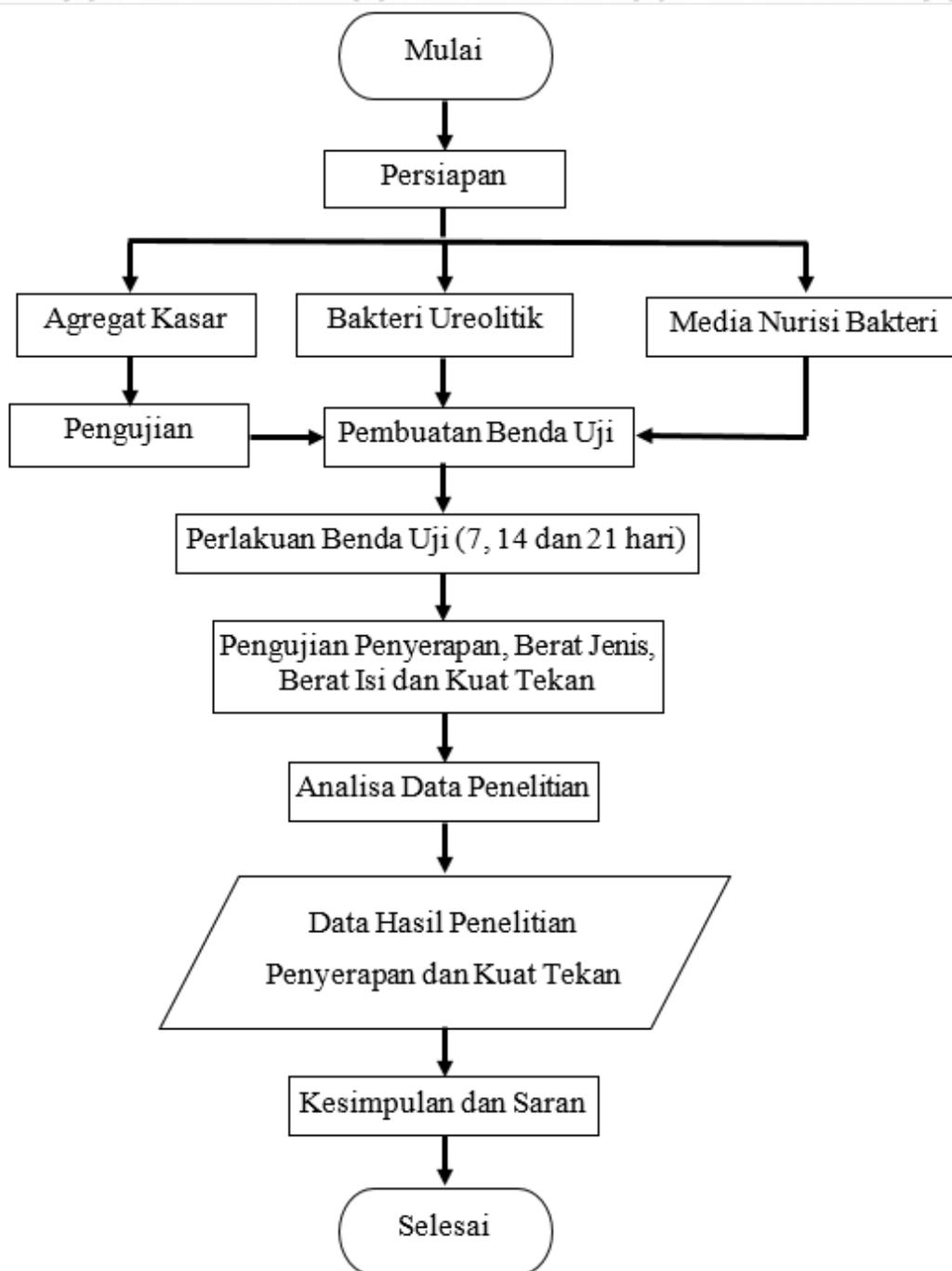
Tabel 3. 4 Form Pengujian Kuat Tekan

Item Pengujian	Indeks	Sampel	
		1	2
Berat Silinder Pengujian + Alas	W1		
Berat Silinder Pengujian + Alas + Sampel (setelah dipadatkan)	W2		
Berat Awal Sampel	$A' = W2 - W1$		
Setelah penekanan dan disaring 1 menit			
Berat Sampel Lolos saringan 2,36 mm	B		
Berat Sampel Tertahan saringan 2,36 mm	C		
Total	$A = B + C$		
Selisih Total dengan Berat Awal Sampel (<1 gr)	$ A - A' $		
Aggregate Crushing Value : B/A (%)	B/A (%)		
Rata- rata ACV (%)			

Tabel 3. 2 Form Perhitungan Berat Isi Agregat Kasar

1.	Berat Takaran	(gr)		
2.	Berat Takaran + air	(gr)		
3.	Berat air	(gr)		
4.	Volume air	(cc)		
	Cara		Rodded	Shoveled
5.	Berat Takaran	(gr)		
6.	Berat takaran + benda uji	(gr)		
7.	Berat benda uji	(gr)		
8.	Berat isi agregat kasar	(gr/cc)		
9.	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)		

3.9. Diagram Alir Penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Agregat

Pelaksanaan pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui mutu bahan penyusun beton dengan material agregat kasar daur ulang yang akan berpengaruh pada kekuatan tekan beton. Hasil penelitian akan dijadikan acuan data untuk memperhitungkan kebutuhan bahan selanjutnya.

Penelitian ini dilaksanakan pada agregat kasar daur ulang untuk mengetahui berat isi, berat jenis, penyerapan dan kekuatan agregat daur ulang terhadap tekanan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

4.2. Berat Isi Agregat Kasar

Berat isi agregat kasar merupakan perbandingan antara berat agregat dengan volumenya. Pengujian berat isi pada penelitian ini diperlukan untuk menghitung jumlah kebutuhan agregat pada mix design yang akan direncanakan. Hasil dari pengujian berat isi agregat kasar pada penelitian ini ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Isi

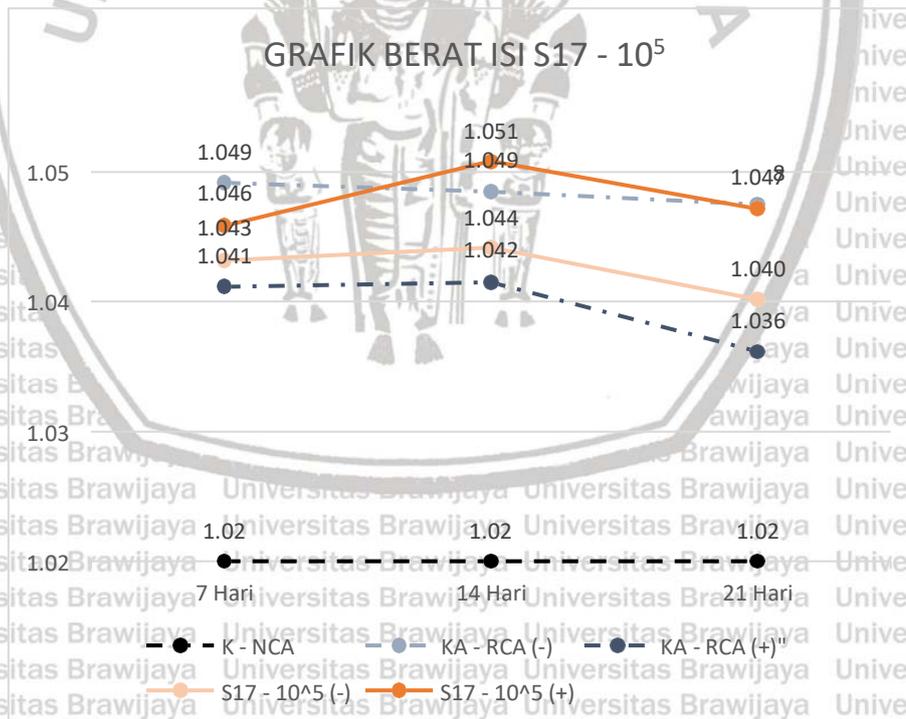
Isolat	Konsentrasi	Inkubasi	Hasil Pengujian	
			Berat Isi (gr/cm ³)	
			(-)	(+)
Kontrol	Kontrol NCA	7 Hari	1.02	
		14 Hari	1.02	
		21 Hari	1.02	
	Kontrol RCA	7 Hari	1.049	1.041
		14 Hari	1.049	1.042
		21 Hari	1.048	1.036
S17	10 ⁵	7 Hari	1.043	1.046
		14 Hari	1.044	1.051
		21 Hari	1.040	1.047
	10 ⁶	7 Hari	1.043	1.046
		14 Hari	1.044	1.048
		21 Hari	1.041	1.046

R20	10⁷	7 Hari	1.038	1.049
		14 Hari	1.043	1.049
		21 Hari	1.043	1.049
	10⁵	7 Hari	1.042	1.042
		14 Hari	1.040	1.042
		21 Hari	1.040	1.043
	10⁶	7 Hari	1.043	1.045
		14 Hari	1.043	1.047
		21 Hari	1.039	1.038
	10⁷	7 Hari	1.041	1.043
		14 Hari	1.044	1.047
		21 Hari	1.044	1.046

Keterangan :

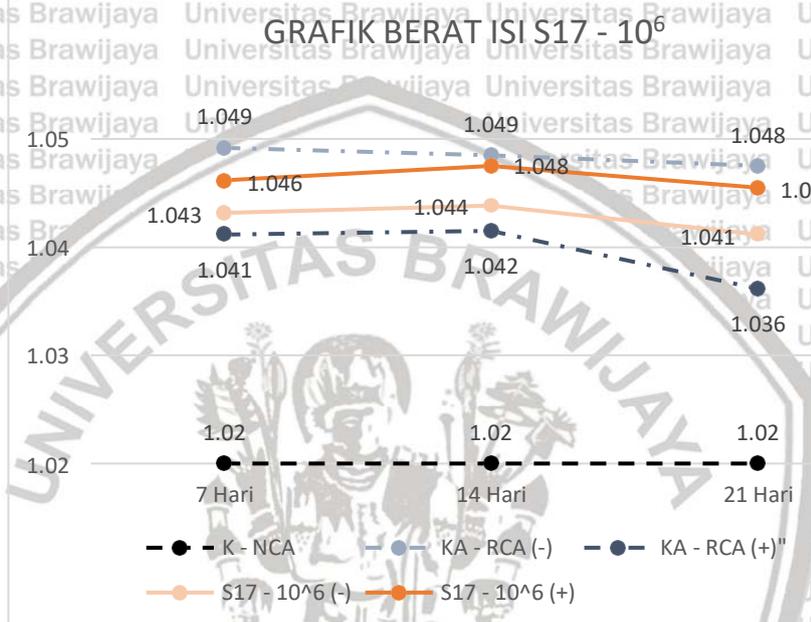
(-) = **Sebelum** diberikan perlakuan

(+) = **Setelah** diberikan perlakuan



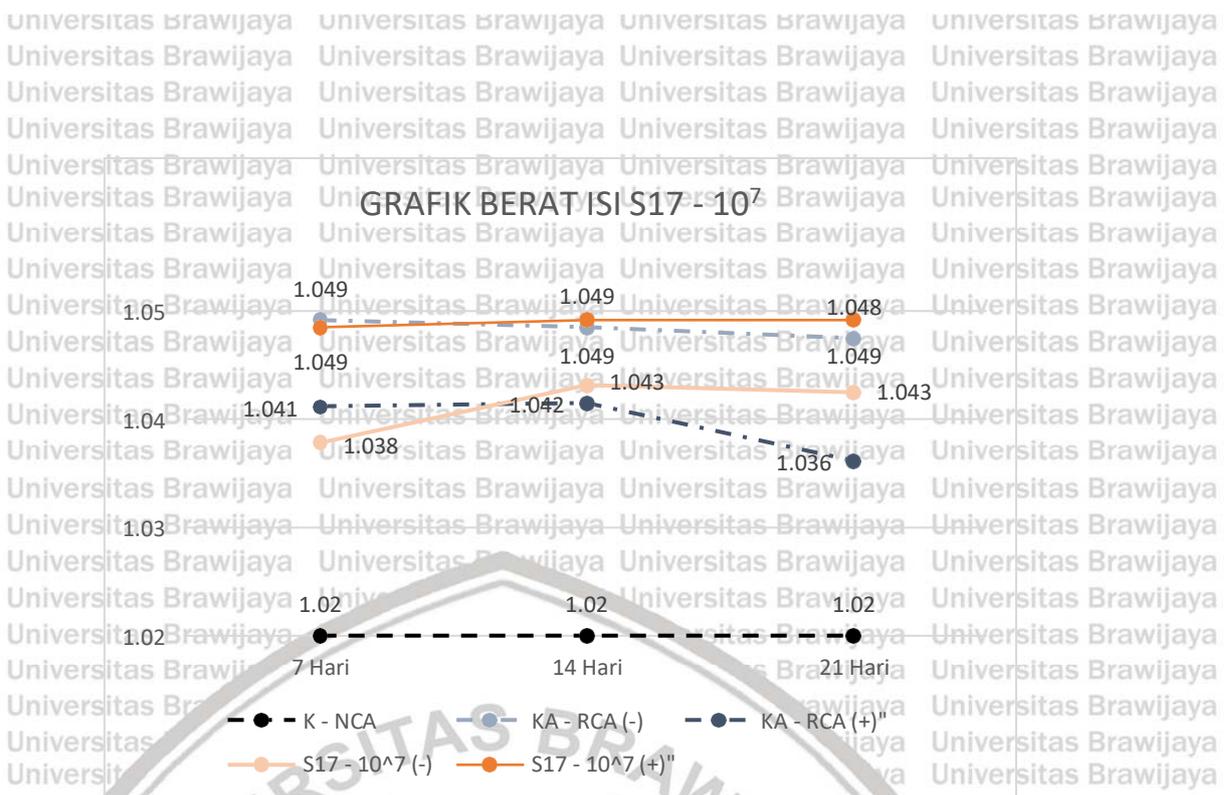
Gambar 4. 1 Grafik Berat Isi S17 - 10⁵

Berdasarkan **Gambar 4.1** dapat dilihat penambahan nilai berat isi dari isolat S17 dengan densitas 10^5 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 dan 21 hari yaitu sebesar $0,007 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.



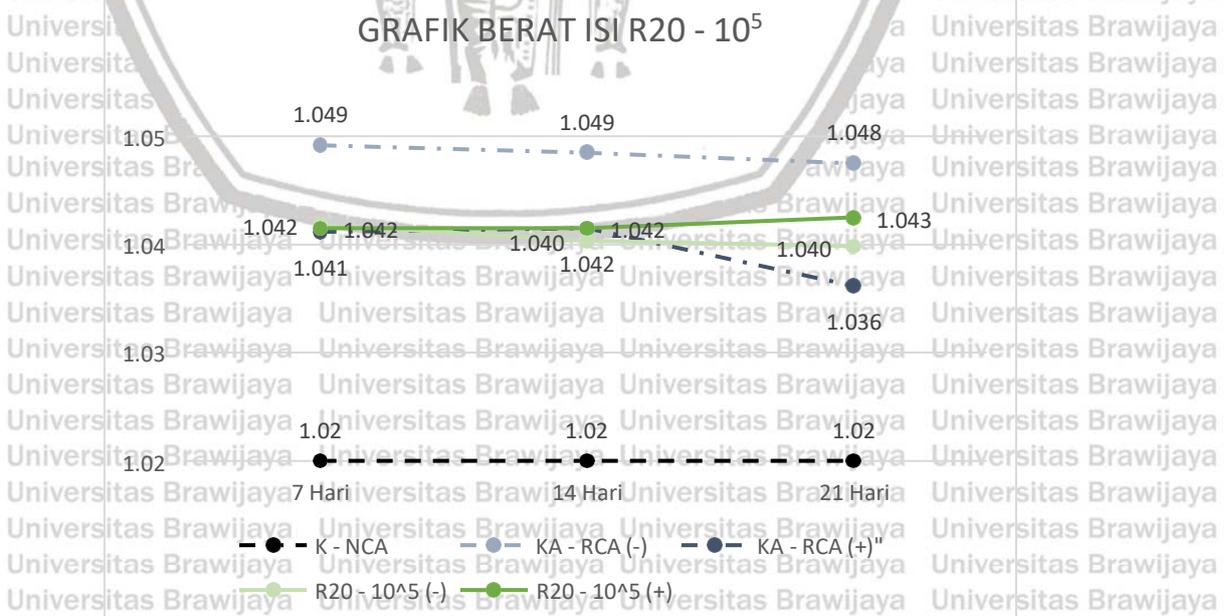
Gambar 4. 2 Grafik Berat Isi S17 – 10^6

Dapat dilihat pada **Gambar 4.2** menunjukkan terjadinya penambahan nilai berat isi dari isolat S17 dengan densitas 10^6 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 dan 21 hari yaitu sebesar $0,004 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.



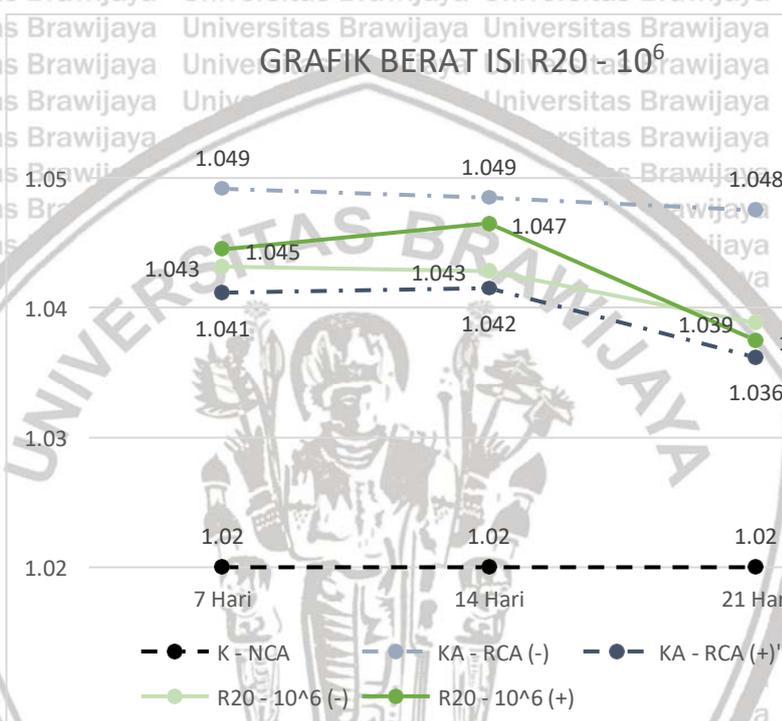
Gambar 4.3 Grafik Berat Isi S17 - 10^7

Pada **Gambar 4.3** dapat dilihat bahwa terjadi penambahan nilai berat isi dari isolat S17 dengan densitas 10^7 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 7 hari yaitu sebesar $0,011 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.



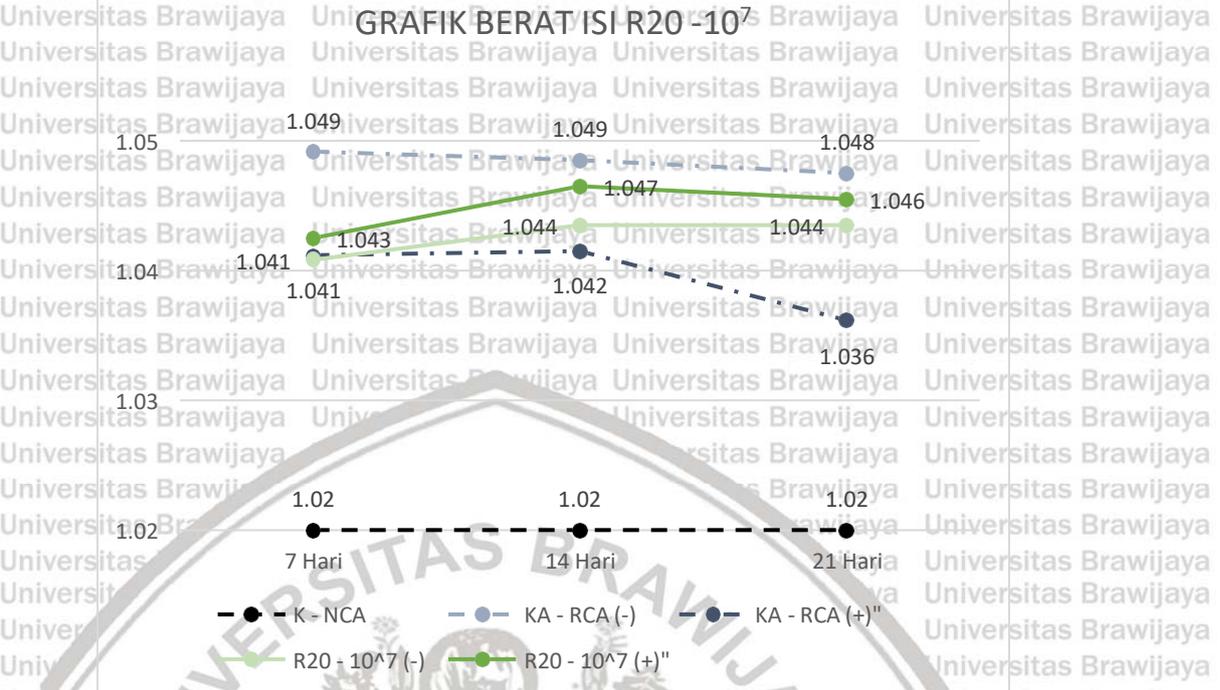
Gambar 4.4 Grafik Berat Isi R20 - 10^5

Dari **Gambar 4.4** dapat dilihat terjadinya penambahan nilai berat isi dari isolat R20 dengan densitas 10^5 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 21 hari yaitu sebesar $0,003$ gr/cm³, pada masa inkubasi 7 hari tidak terjadi perubahan. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.



Gambar 4.5 Grafik Berat Isi R20 - 10^6

Berdasarkan **Gambar 4.5** dapat dilihat terjadinya penambahan nilai berat isi dari isolat R20 dengan densitas 10^6 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar $0,004$ gr/cm³, pada masa inkubasi 21 hari terjadi penurunan berat isi sebesar $0,001$ gr/cm³. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.



Gambar 4. 6 Grafik Berat Isi R20 – 10⁷

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terjadinya penambahan nilai berat isi dari isolat R20 dengan densitas 10⁷ sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,003 gr/cm³. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat isi dari agregat daur ulang.

Berdasarkan dari hasil penelitian, didapatkan data berat isi dengan jumlah penambahan terbesar yang telah ditabulasikan pada **Tabel 4.1** yaitu sebesar 0,007 gr/cm³, dengan berat isi sebelum diberi perlakuan sebesar 1,044 gr/cm³ dan berat isi setelah diberi perlakuan sebesar 1,051 gr/cm³. Berat isi agregat dipengaruhi oleh gradasi agregat, apabila ukuran agregat kecil maka berat isi akan semakin besar karena rongga udara antar agregat tertutup oleh agregat itu sendiri. Hasil berat isi dari kontrol RCA terjadi penurunan, oleh karena itu penambahan bakteri pengendap CaCO₃ berpengaruh terhadap berat isi agregat daur ulang, karena ketika penyerapan dari suatu agregat semakin kecil maka seharusnya berat isi dari agregat semakin besar. Hasil berat isi dari agregat alami atau NCA yaitu sebesar 1,02 gr/cm³, data tersebut lebih kecil apabila dibandingkan dengan hasil agregat daur ulang, karena volume dari agregat berbeda.

Hasil tersebut didukung dengan hasil analisis statistika yang dapat ditunjukkan pada tabel hasil ANOVA **Lampiran 3**. Pemberian bakteri terhadap nilai peningkatan berat isi menunjukkan adanya beda signifikan dengan kontrol akuades. Hasil analisis statistika berdasarkan data kedua isolat bakteri menunjukkan bahwa masa inkubasi 14 hari dan densitas sel 10^5 sel/mL mampu memberikan hasil yang paling baik. Selain itu, isolat S17 juga terbukti merupakan isolat terbaik dalam meningkatkan nilai berat jenis agregat daur ulang dengan beda signifikan dibandingkan dengan isolat R20. Nilai peningkatan berat isi tidak menunjukkan adanya korelasi dengan parameter yang lain. Namun interaksi antar perlakuan menunjukkan hasil yang signifikan.

4.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis adalah perbandingan antara massa jenis suatu agregat/material lainnya dengan massa jenis air murni. Berat jenis sendiri terdiri dari 3 macam, yaitu: berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu.

Pengujian penyerapan merupakan perbandingan antara air pori dari suatu agregat dengan berat kering agregat. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar pada penelitian ini ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis & Penyerapan

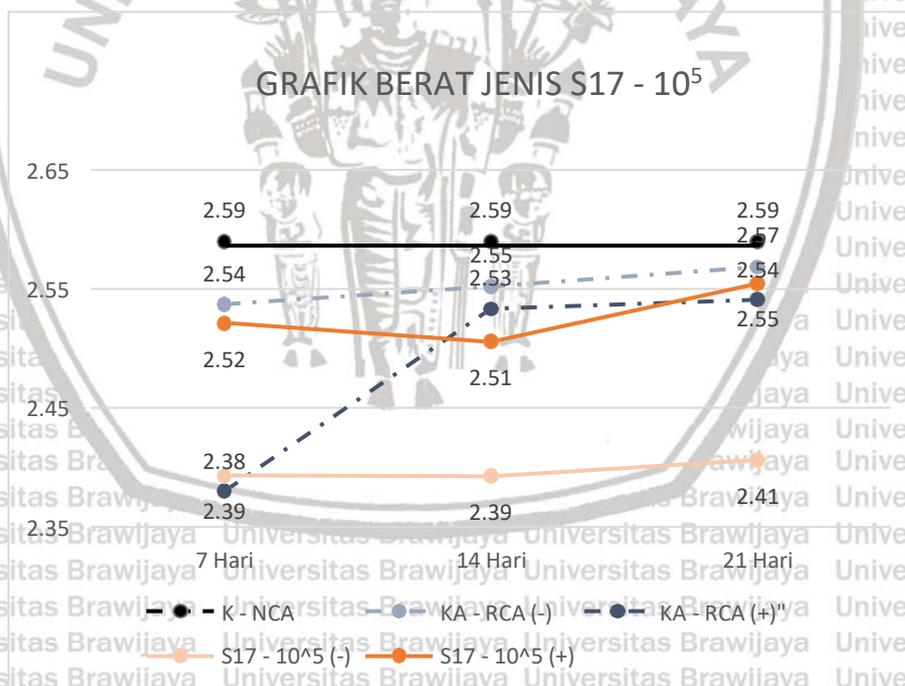
Isolat	Konsentrasi	Inkubasi	Hasil Pengujian			
			Berat Jenis		Penyerapan (%)	
			(-)	(+)	(-)	(+)
Kontrol	Kontrol NCA	7 Hari	2.59		1.93	
		14 Hari	2.59		1.93	
		21 Hari	2.59		1.93	
	Kontrol RCA	7 Hari	2.54	2.38	4.87	5.22
		14 Hari	2.55	2.53	4.80	5.18
		21 Hari	2.57	2.54	4.70	4.61
S17	10^5	7 Hari	2.39	2.52	4.33	3.98
		14 Hari	2.39	2.51	4.23	3.68
		21 Hari	2.41	2.55	4.03	3.97
	10^6	7 Hari	2.39	2.51	4.13	3.91
		14 Hari	2.40	2.53	4.27	3.73
		21 Hari	2.41	2.56	4.07	3.74

R20	10^7	7 Hari	2.41	2.46	3.67	3.90
		14 Hari	2.41	2.53	4.10	3.79
		21 Hari	2.41	2.50	4.10	3.86
	10^5	7 Hari	2.44	2.49	4.30	4.53
		14 Hari	2.43	2.52	4.17	3.71
		21 Hari	2.41	2.45	4.17	4.20
	10^6	7 Hari	2.41	2.47	4.27	4.19
		14 Hari	2.43	2.50	4.30	3.39
		21 Hari	2.44	2.46	3.83	3.93
	10^7	7 Hari	2.47	2.54	3.83	4.03
		14 Hari	2.43	2.50	4.30	3.53
		21 Hari	2.44	2.46	4.23	3.98

Keterangan :

(-) = **Sebelum** diberikan perlakuan

(+) = **Setelah** diberikan perlakuan

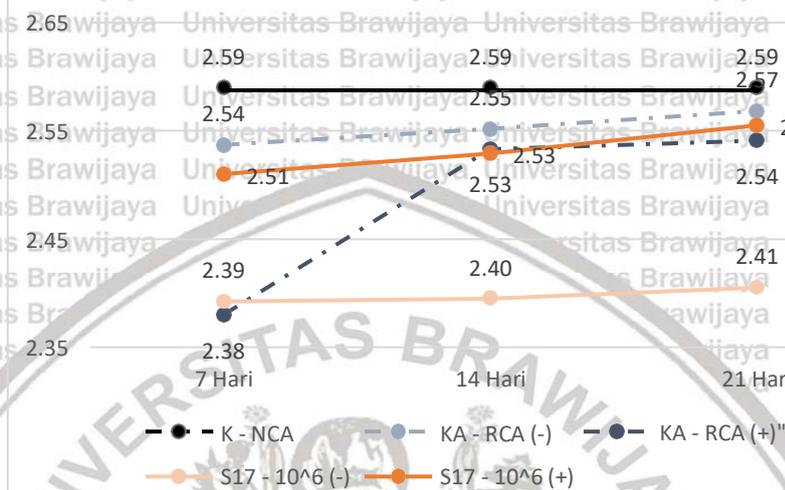


Gambar 4. 7 Grafik Berat Jenis S17 - 10^5

Dapat dilihat pada **Gambar 4.7** bahwa terjadi penambahan nilai berat jenis dari isolat S17 dengan densitas 10^5 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 21 hari yaitu sebesar $0,15 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan

perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang;

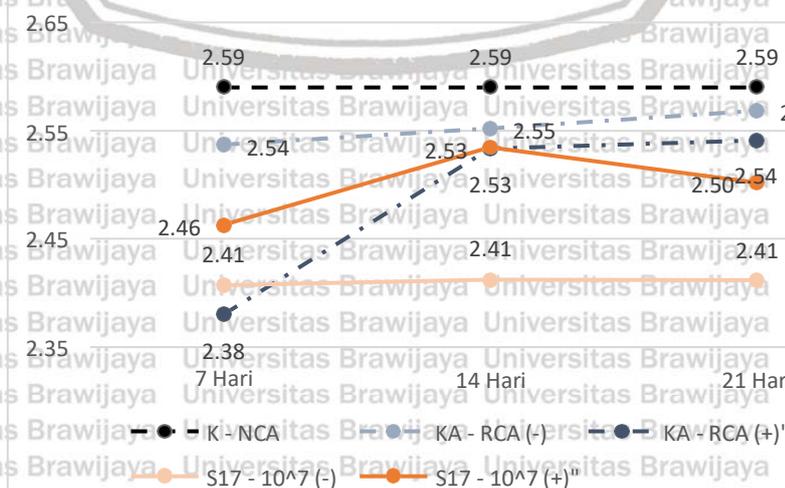
GRAFIK BERAT JENIS S17 - 10^6



Gambar 4. 8 Grafik Berat Jenis S17 - 10^6

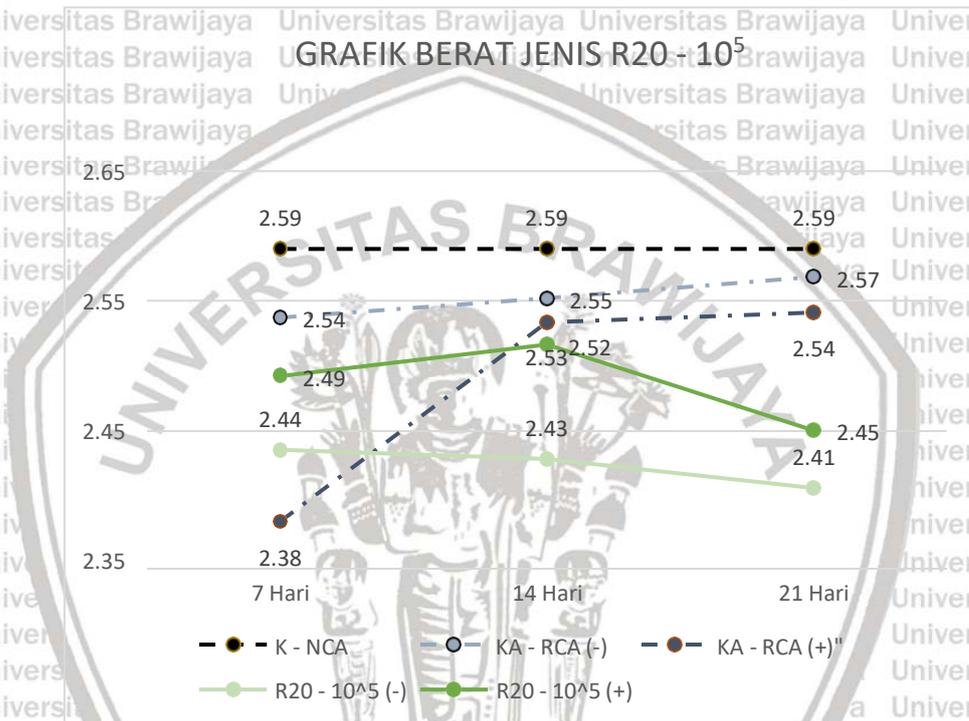
Gambar 4.8 menunjukkan bahwa terjadi penambahan nilai berat jenis dari isolat S17 dengan densitas 10^6 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 21 hari yaitu sebesar $0,15 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang.

GRAFIK BERAT JENIS S17 - 10^7

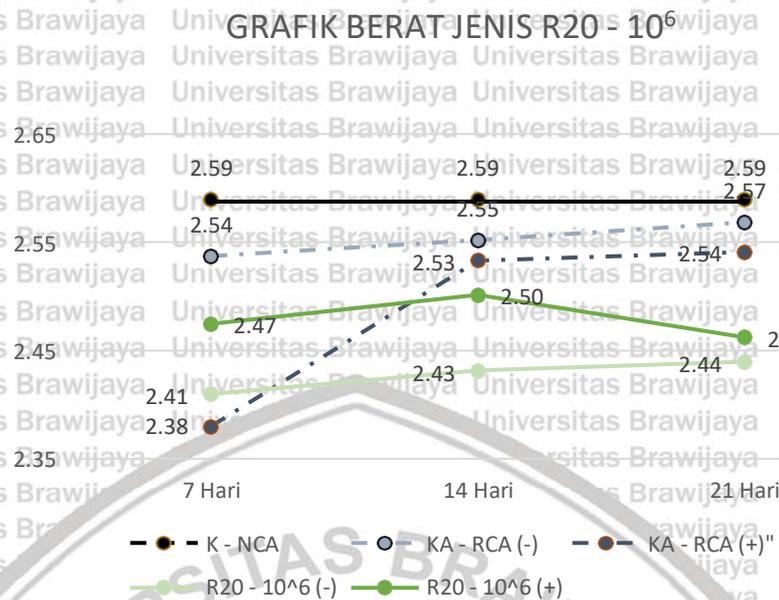


Gambar 4. 9 Grafik Berat Jenis S17 – 10^7

Dari **Gambar 4.9** dapat terlihat terjadinya penambahan nilai berat jenis dari isolat S17 dengan densitas 10^7 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar $0,12 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 berpengaruh terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang.

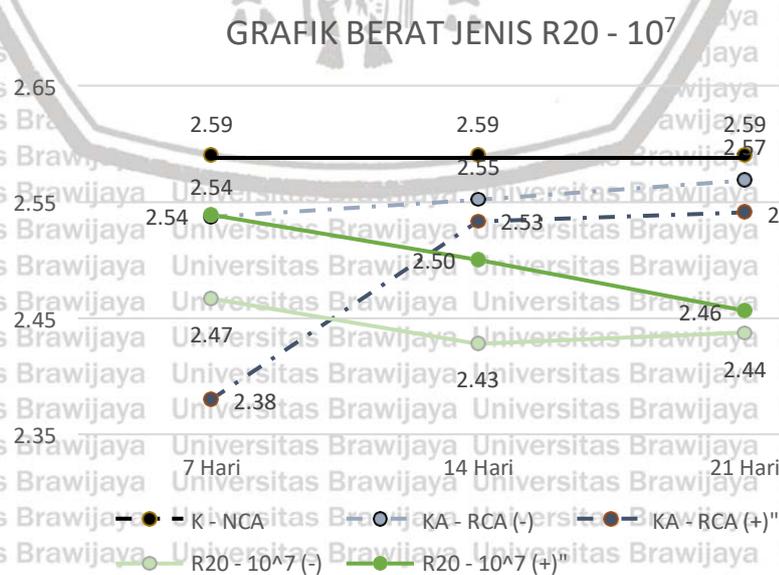
**Gambar 4. 10** Grafik Berat Jenis R20 – 10^5

Berdasarkan **Gambar 4.10** dapat dilihat terjadinya penambahan nilai berat jenis dari isolat R20 dengan densitas 10^5 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar $0,09 \text{ gr/cm}^3$, penambahan yang terjadi tidak terlalu besar. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang.



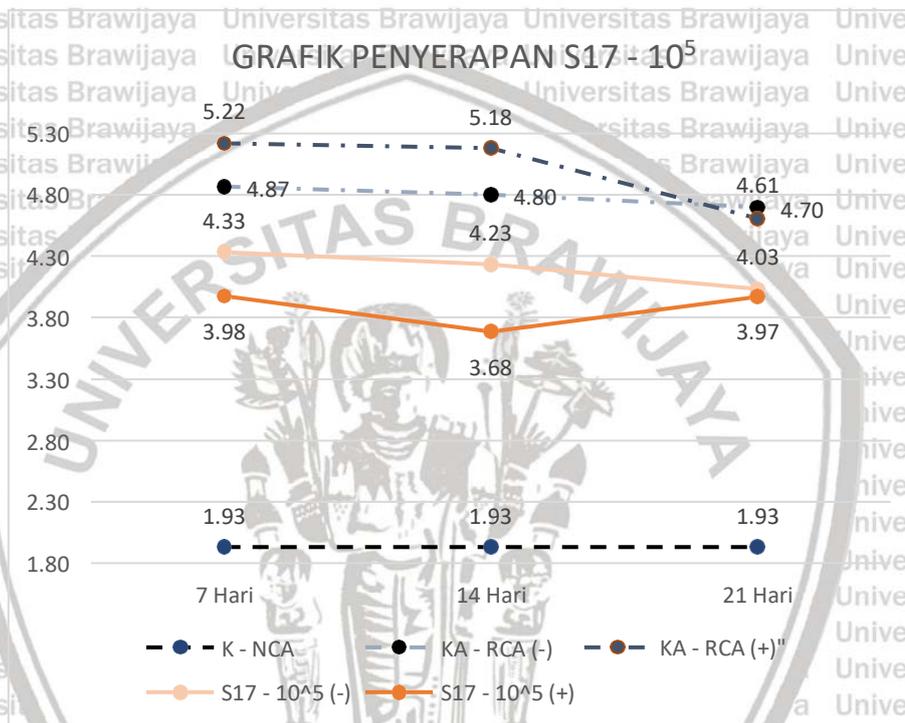
Gambar 4. 11 Grafik Berat Jenis R20 – 10^6

Pada **Gambar 4.11** dapat dilihat terjadinya penambahan nilai berat jenis dari isolat R20 dengan densitas 10^6 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar $0,07 \text{ gr/cm}^3$, penambahan yang terjadi tidak terlalu besar. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang.



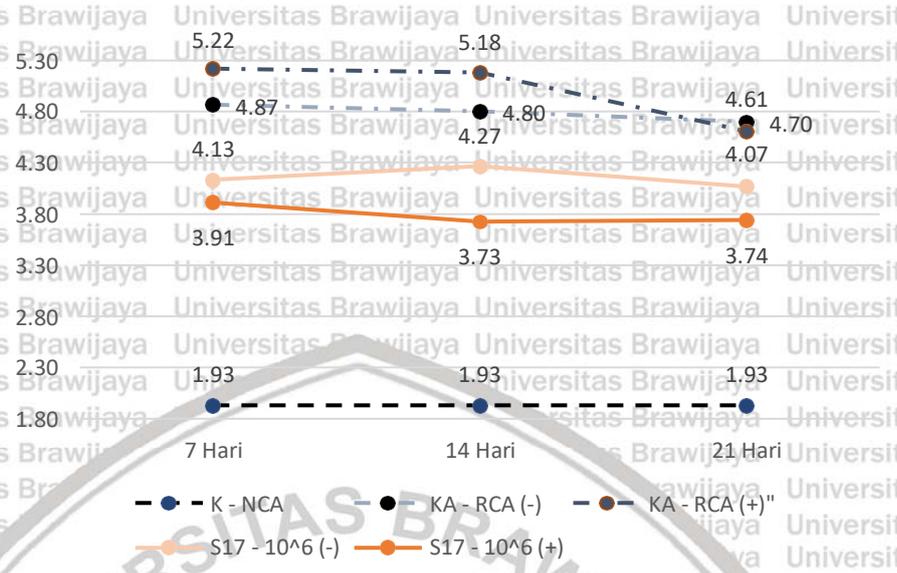
Gambar 4. 12 Grafik Berat Jenis R20 – 10^7

Dari **Gambar 4.12** didapatkan penambahan nilai berat jenis dari isolat R20 dengan densitas 10^7 sel/mL. Penambahan terbesar terjadi pada masa inkubasi 7 dan 14 hari yaitu sebesar $0,07 \text{ gr/cm}^3$, penambahan yang terjadi tidak terlalu besar. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penurunan berat isi setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap bertambahnya berat jenis dari agregat daur ulang.

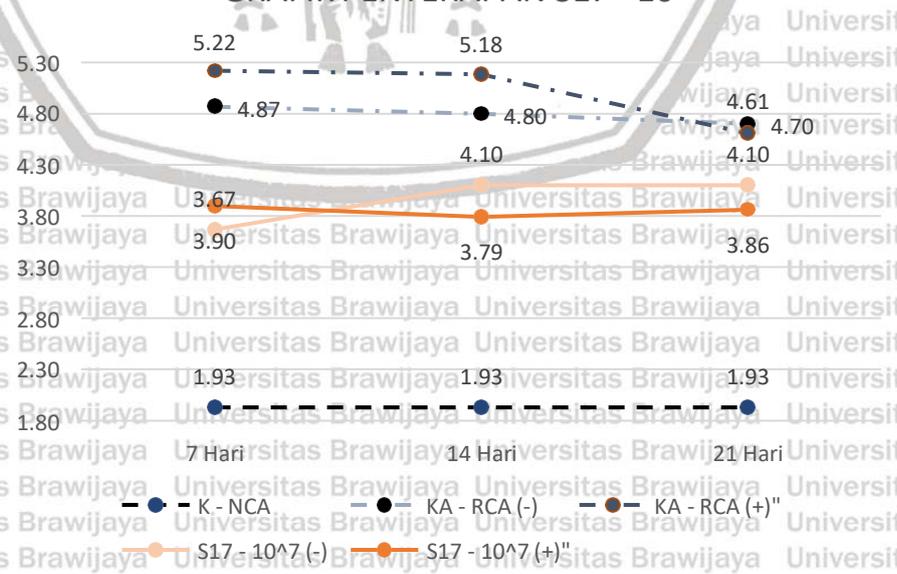


Gambar 4. 13 Grafik Penyerapan S17 – 10^5

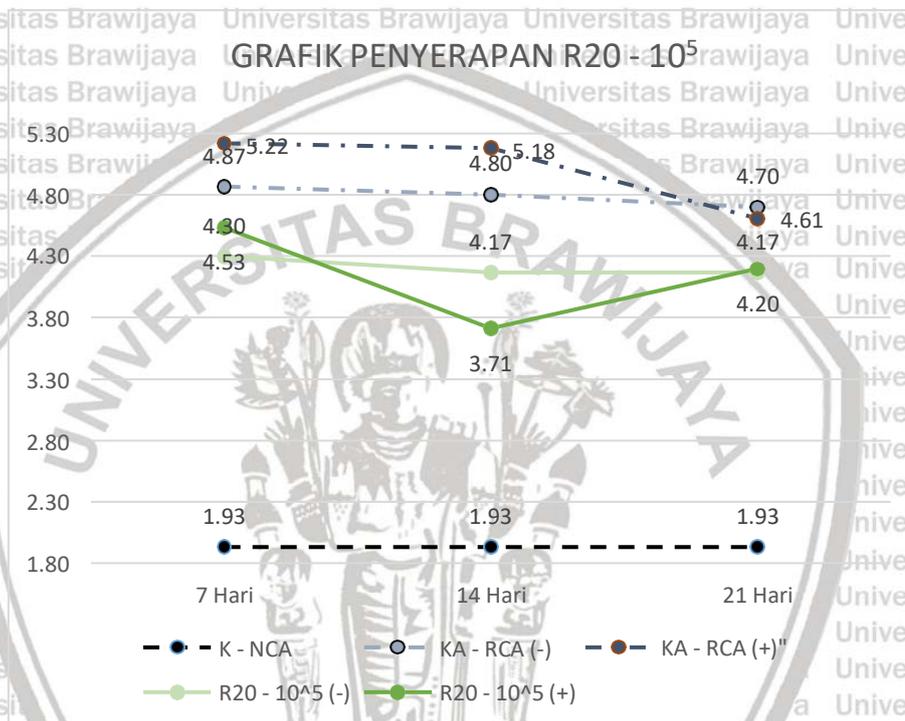
Terjadinya penurunan nilai penyerapan dari isolat S17 dengan densitas 10^5 sel/mL dapat dilihat pada **Gambar 4.13**. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,55%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 dengan densitas 10^5 sel/mL berpengaruh terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.

GRAFIK PENYERAPAN S17 - 10^6 Gambar 4. 14 Grafik Penyerapan S17 - 10^6

Pada Gambar 4.14 juga menunjukkan terjadinya penurunan nilai penyerapan dari isolat S17 dengan densitas 10^6 sel/mL. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,54%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 dengan densitas 10^6 sel/mL berpengaruh terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.

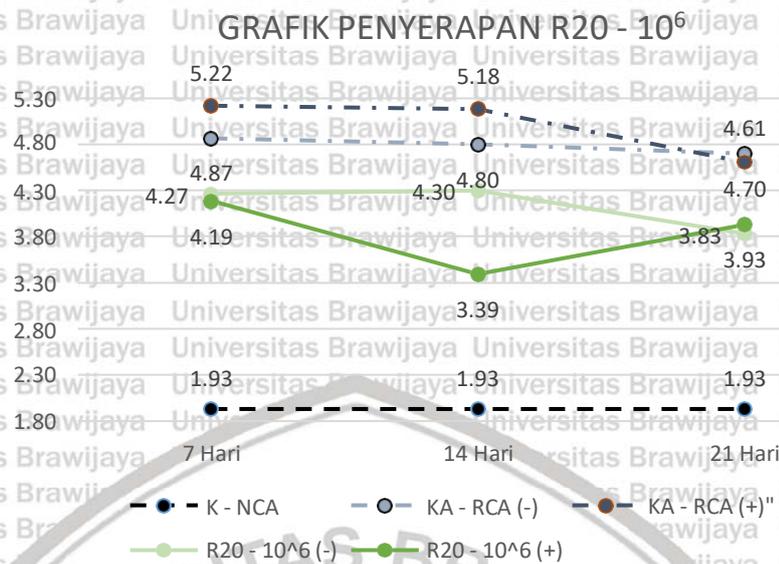
GRAFIK PENYERAPAN S17 - 10^7 Gambar 4. 15 Grafik Penyerapan S17 - 10^7

Berdasarkan **Gambar 4.15** dapat dilihat terjadinya penurunan nilai penyerapan dari isolat S17 dengan densitas 10^7 sel/mL. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,31%. Pada masa inkubasi 7 hari terjadi penambahan nilai penyerapan sebesar 0,23%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 dengan densitas 10^7 sel/mL berpengaruh terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.



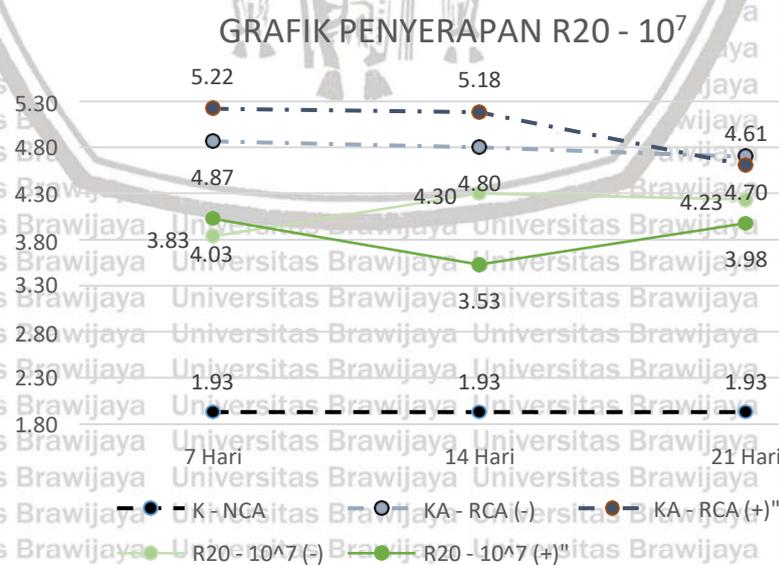
Gambar 4. 16 Grafik Penyerapan R20 – 10^5

Dari **Gambar 4.16** dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai penyerapan dari isolat R20 dengan densitas 10^5 sel/mL. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,46%. Pada masa inkubasi 7 hari terjadi penambahan nilai penyerapan sebesar 0,23% dan pada masa inkubasi 21 hari terjadi penambahan sebesar 0,03%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 dengan densitas 10^5 sel/mL berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.



Gambar 4. 17 Grafik Penyerapan R20 – 10⁶

Berdasarkan **Gambar 4.17** dapat dilihat terjadinya penurunan nilai penyerapan dari isolat R20 dengan densitas 10⁶ sel/mL. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,91%. Pada masa inkubasi 21 hari terjadi penambahan nilai penyerapan sebesar 0,10%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 dengan densitas 10⁶ sel/mL berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.



Gambar 4. 18 Grafik Penyerapan R20 – 10⁷

Terjadinya penurunan nilai penyerapan dari isolat R20 dengan densitas 10^7 sel/mL. Penurunan terbesar terjadi pada masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 0,77% dapat dilihat pada

Gambar 4.18. Pada masa inkubasi 7 hari terjadi penambahan nilai penyerapan sebesar 0,19%. Sedangkan pada kontrol agregat daur ulang terjadi penambahan nilai penyerapan setelah diberikan perlakuan dengan akuades pada hari ke 7, 14 dan 21. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 dengan densitas 10^7 sel/mL berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap berkurangnya nilai penyerapan dari agregat daur ulang.

Berdasarkan penelitian yang telah ditabulasikan pada **Tabel 4.2** didapatkan hasil untuk variasi berat jenis agregat kasar. Dalam penelitian ini didapatkan penambahan berat jenis kering permukaan jenuh setelah diberikan perlakuan dengan menambahkan bakteri pengendap CaCO_3 yaitu sebesar 2,56 dengan berat jenis sebelum diberikan perlakuan yaitu sebesar 2,41, penambahan yang terjadi yaitu sebesar 0,15. Hasil berat jenis tersebut sudah memenuhi standart Bina Marga 2009 yaitu $> 2,5$.

Hasil tersebut didukung dengan hasil analisis statistika yang dapat ditunjukkan pada tabel hasil ANOVA Lampiran 4. Pemberian bakteri terhadap nilai peningkatan berat jenis menunjukkan adanya beda signifikan dengan kontrol, terutama pada kontrol akuades. Namun antar perlakuan yang diberikan tidak menunjukkan adanya beda signifikan, terutama pada perlakuan variasi densitas sel bakteri. Hasil analisis statistika berdasarkan data kedua isolat bakteri menunjukkan bahwa masa inkubasi 14 hari dan densitas sel 10^5 sel/mL mampu memberikan hasil yang paling baik. Selain itu, isolat S17 juga terbukti merupakan isolat terbaik dalam meningkatkan nilai berat jenis RCA dengan beda signifikan dibandingkan dengan isolat R20. Interaksi antar perlakuan densitas dan masa inkubasi menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Nilai peningkatan berat jenis juga tidak menunjukkan adanya korelasi dengan parameter yang lain.

Data penyerapan telah ditabulasikan pada **Tabel 4.2**. Penyerapan yang didapatkan mengalami penurunan setelah diberikan perlakuan dengan menambahkan bakteri pengendap CaCO_3 , penurunan penyerapan agregat daur ulang terbesar yaitu terjadi pada masa inkubasi 14 hari, secara keseluruhan yang mengalami penurunan penyerapan yaitu pada isolat S17, dengan hasil terbesar pada sampel S17 dengan densitas sel 10^5 sel/mL dan masa inkubasi 14 hari, penurunan sebesar 0,55 dengan nilai penyerapannya sebesar 3,68%.

Hasil tersebut didukung dengan hasil analisis statistika yang dapat ditunjukkan pada tabel hasil ANOVA **Lampiran 5**. Pemberian bakteri terhadap nilai penurunan penyerapan

menunjukkan adanya beda signifikan dengan kontrol akuades. Namun antar perlakuan yang diberikan tidak menunjukkan adanya beda signifikan, baik dari variasi isolat bakteri maupun densitas sel bakteri. Hasil analisis statistika berdasarkan data kedua isolat bakteri menunjukkan bahwa masa inkubasi 14 hari dan densitas sel 10^6 sel/mL mampu memberikan hasil yang paling baik. Selain itu, isolat S17 juga terbukti merupakan isolat terbaik dalam menurunkan nilai penyerapan air pada agregat daur ulang, namun tidak berbeda signifikan dengan isolat R20. Interaksi antar perlakuan menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Nilai penurunan penyerapan juga tidak menunjukkan adanya korelasi dengan parameter yang lain.

Apabila dibandingkan dengan hasil berat jenis dan penyerapan kontrol agregat alami (NCA), kualitas agregat daur ulang setelah diberikan perlakuan masih dibawah kualitas dari agregat alami. Sedangkan hasil berat jenis dari kontrol RCA mengalami penurunan, seharusnya berat jenis bertambah, untuk hasil penyerapan dari kontrol RCA mengalami penambahan, seharusnya penyerapan semakin kecil penyerapan maka kualitas agregat semakin baik. Oleh karena itu berdasarkan dari hasil penelitian penambahan bakteri pengendap CaCO_3 berpengaruh terhadap berat jenis dan penyerapan, karena terjadi penambahan pada berat jenis dan penurunan penyerapan dari agregat daur ulang.

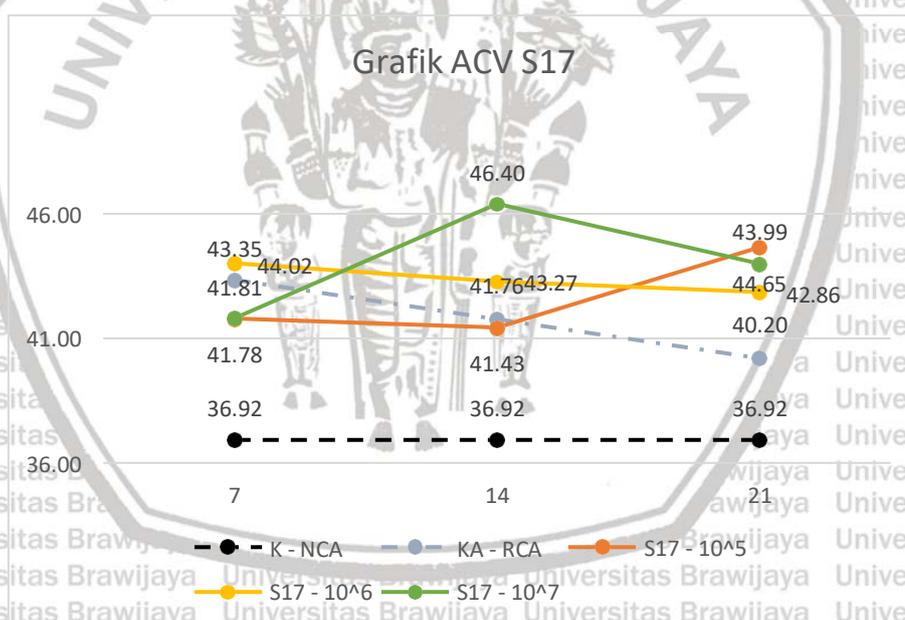
4.4. Aggregate Crushing Value (ACV)

Pengujian *Aggregate Crushing Value* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri ureolitik pada agregat kasar daur ulang terhadap kekuatan agregat kasar daur ulang dalam menahan beban tekan. Pengujian ini dilakukan ketika agregat kasar daur ulang telah diberikan perlakuan dengan campuran bakteri ureolitik selama 7, 14 dan 21 hari. Hasil dari pengujian *Aggregate Crushing Value* pada agregat daur ulang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Aggregate Crushing Value*

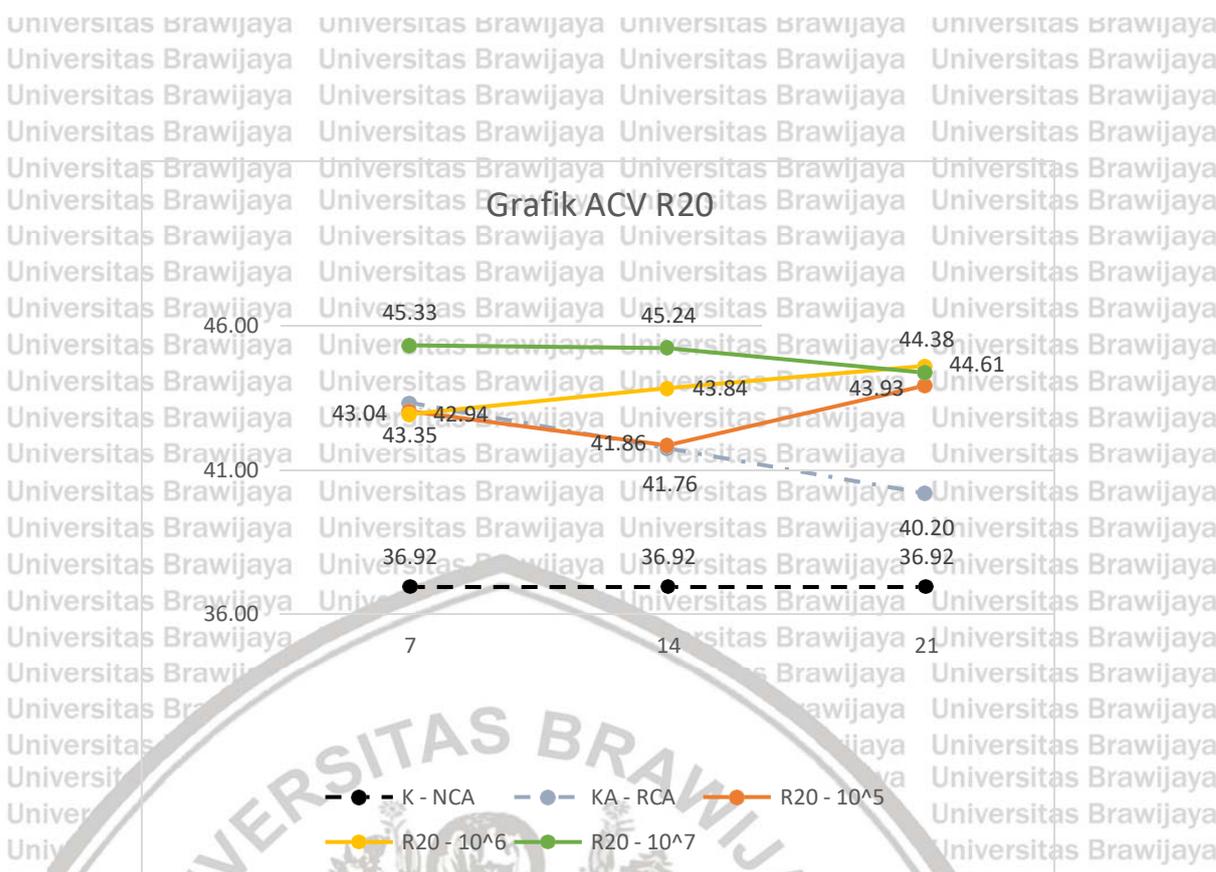
Isolat	Konsentrasi	Inkubasi	Hasil Pengujian
			ACV (%)
Kontrol	Kontrol NCA	7 Hari	36.92
		14 Hari	36.92
		21 Hari	36.92
	Kontrol RCA	7 Hari	43.35
		14 Hari	41.76
		21 Hari	40.20

S17	10 ⁵	7 Hari	41.78
		14 Hari	41.43
		21 Hari	44.65
	10 ⁶	7 Hari	44.02
		14 Hari	43.27
		21 Hari	42.86
	10 ⁷	7 Hari	41.81
		14 Hari	46.40
		21 Hari	43.99
R20	10 ⁵	7 Hari	43.04
		14 Hari	41.86
		21 Hari	43.93
	10 ⁶	7 Hari	42.94
		14 Hari	43.84
		21 Hari	44.61
	10 ⁷	7 Hari	45.33
		14 Hari	45.24
		21 Hari	44.38



Gambar 4. 19 Grafik ACV S17

Berdasarkan **Gambar 4.19** dapat dilihat nilai ACV dari isolat bakteri S17 dengan densitas sel 10^5 , 10^6 , dan 10^7 . Nilai ACV terbaik yaitu pada densitas sel 10^5 dengan masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 41,43%. Namun apabila dibandingkan dengan kualitas dari kontrol agregat daur ulang perbedaan nilai ACV tidak terlalu besar, sedangkan apabila dibandingkan dengan kontrol agregat alami, kualitasnya masih tidak lebih baik. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri S17 dengan densitas berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap nilai *Aggregate Crushing Value* dari agregat daur ulang.



Gambar 4. 20 Grafik ACV R20

Gambar 4.20 menunjukkan hasil dari nilai ACV dari isolat bakteri R20 dengan densitas sel 10^5 , 10^6 , dan 10^7 . Nilai ACV terbaik yaitu pada densitas sel 10^5 dengan masa inkubasi 14 hari yaitu sebesar 41,86%. Namun apabila dibandingkan dengan kualitas dari kontrol agregat daur ulang perbedaan nilai ACV tidak terlalu besar, sedangkan apabila dibandingkan dengan kontrol agregat alami, kualitasnya masih tidak lebih baik. Oleh karena itu penambahan isolat bakteri R20 dengan densitas 10^7 sel/mL berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap nilai *Aggregate Crushing Value* dari agregat daur ulang.

Berdasarkan dari hasil penelitian, didapatkan data berat isi yang telah ditabulasikan pada **Tabel 4.3**. Hasil *Aggregate Crushing Value* dipengaruhi oleh gradasi agregat, apabila ukuran agregat kecil dan pipih maka hasil ACV akan semakin besar karena persentase agregat yang lolos saringan dengan ukuran 2,36 mm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan penambahan bakteri pengendap CaCO_3 berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap kekuatan agregat dalam menahan beban tekan, hasil ACV agregat daur ulang yaitu dengan nilai rata-rata diatas 40% masih lebih besar apabila dibandingkan dengan nilai ACV agregat alami (NCA) yaitu sebesar 36,92%. Pengendapan yang terjadi pada agregat hanya berupa lapisan yang tidak memiliki daya rekat dan tidak memiliki kekuatan dalam menahan beban tekan, sehingga ketika dilakukan pengujian *Aggregate Crushing Value* agregat mengalami kehancuran.

Hasil tersebut didukung dengan hasil analisis statistika yang dapat ditunjukkan pada tabel hasil ANOVA **Lampiran 6**. Pemberian bakteri pengendap CaCO_3 terhadap nilai ACV pada agregat daur ulang menunjukkan adanya beda signifikan dengan kontrol akuades. Hasil analisis statistika berdasarkan data kedua isolat bakteri menunjukkan bahwa masa inkubasi 14 hari dan densitas sel 10^5 sel/mL mampu memberikan hasil yang paling baik. Selain itu, isolat S17 juga terbukti merupakan isolat terbaik dalam menghasilkan nilai ACV agregat daur ulang, namun jika dibandingkan dengan isolat R20 tidak terdapat beda signifikan. Nilai ACV pada agregat daur ulang tidak menunjukkan adanya korelasi dengan parameter yang lain. Namun interaksi antar perlakuan menunjukkan hasil yang signifikan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian upaya peningkatan kualitas agregat daur ulang dengan menggunakan bakteri pengendap CaCO_3 maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan bakteri pengendap CaCO_3 pada agregat daur ulang berpengaruh namun tidak secara signifikan terhadap kekuatan agregat daur ulang dalam menahan beban tekan, hasil yang didapatkan dalam pengujian perbandingan antara sebelum dan sesudah diberikan perlakuan tidak terjadi perbedaan yang signifikan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas dari agregat daur ulang masih dibawah agregat alami. Hal itu terjadi karena pengendapan CaCO_3 yang terjadi tidak memiliki daya rekat seperti semen dan juga tidak memiliki kekuatan dalam menahan beban tekan.
2. Dari hasil pengujian penyerapan, berat jenis, dan berat isi pada agregat daur ulang yang telah diberikan perlakuan dengan campuran bakteri pengendap CaCO_3 terbukti dapat mengurangi rongga atau pori pada agregat daur ulang. Hasil penyerapan agregat setelah diberikan perlakuan dengan campuran bakteri pengendap CaCO_3 lebih rendah apabila dibandingkan dengan hasil pengujian penyerapan terhadap agregat sebelum diberikan perlakuan. Namun, hasil persentase penyerapan dari agregat daur ulang masih lebih tinggi apabila dibandingkan dengan agregat alami. Hasil rata-rata penurunan penyerapan terbesar terjadi pada isolat S17 dengan masa inkubasi 14 hari.
3. Dari hasil penelitian ini didapatkan isolat bakteri terbaik yaitu isolat *Micrococcus luteus* S17 dengan densitas sel 10^5 sel/mL pada masa inkubasi selama 14 hari.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk melanjutkan dan memperbaiki penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Pemilihan kualitas agregat alami sebagai kontrol dari hasil penelitian nantinya dan juga agregat daur ulang sebelum dilakukan penelitian. Sebaiknya pembelian material alami atau agregat daur ulang pada industri pemecah batu dengan mutu yang baik. Dapat dilihat dari tekstur agregat dan juga komposisi dari beton untuk agregat daur ulang.
2. Melakukan pengujian kualitas agregat terlebih dahulu sebelum melakukan penelitian selanjutnya, karena akan sangat mempengaruhi hasil dari penelitian nantinya.
3. Perhitungan kebutuhan apa saja yang dibutuhkan dalam penelitian dilakukan sebelum penelitian dimulai.
4. Pada penelitian ini kemungkinan kesalahan yang terjadi yaitu dalam penentuan jumlah benda uji pada setiap masa inkubasi, maka untuk penelitian selanjutnya agar mempermudah dalam pengolahan data sebaiknya untuk pengujian berat jenis dan penyerapan diambil dalam satu sampel yang sama dengan jumlah ulangan yang lebih banyak. Sedangkan untuk pengujian *Crushing* dapat menggunakan dari jumlah ulangan yang lebih banyak tersebut, sehingga didapatkan hasil pengujian yang lebih akurat.
5. Perlu diadakan pembuatan benda uji berupa beton untuk melihat pengaruh bakteri pengendap CaCO_3 terhadap kuat tekan beton.

Daftar Pustaka

- ACI Committe 522. (2010). *Report On Pervious Concrete 522R-10*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Adikasih, Prima. (2019). Pengaruh Penggunaan *Glass Fiber Dan Polypropylene Fiber Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Dengan Menggunakan Rca (Recycled Coarse Aggregate)*.
- ASTM C 1688. *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete*.
- ASTM C-29. *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozolan*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Departemen Pekerjaan Umum: SNI 03-1974-1990. (1990). *Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- El-Reedy, M. A. (2009). *Advanced Materials and Techniques for Reinforced Concrete Structures*. Dunfermline, UK: CRC Press.
- Murdock, L.J. dan K.M.Brook. (1991) *Concrete Technology*, Newyork: Logman scientific and Technical.
- Nurilina, Siti. 2008. *Struktur Beton (hlm 18)*. Malang : Bargie Media.
- Suharwanto. (2005). *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang: Aspek Material-Struktural*. Bandung : ITB
- Teknik Sipil Universitas Brawijaya: *Petunjuk Praktikum Teknologi Beton*. Malang :Bargie Media



LAMPIRAN

Lampiran 1 Rekap Data Hasil Penelitian Isolat Bakteri S17

Jenis Pengujian	SAMPSEL																										
	S17 - 10 ⁵						S17 - 10 ⁶						S17 - 10 ⁷						KA - RCA						KA - RCA		
	7		14		21		7		14		21		7		14		21		7		14		21		7	14	21
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)			
Penyerapan	4.33	3.98	4.23	3.68	4.03	3.97	4.13	3.91	4.27	3.73	4.07	3.74	3.67	3.90	4.10	3.79	4.10	3.86	4.87	5.22	4.80	5.18	4.70	4.61	1.93	1.93	1.93
Berat Jenis	2.39	2.52	2.39	2.51	2.41	2.55	2.39	2.51	2.40	2.53	2.41	2.56	2.41	2.46	2.41	2.53	2.41	2.50	2.54	2.38	2.55	2.53	2.57	2.54	2.59	2.59	2.59
Berat Isi	1.043	1.046	1.044	1.051	1.040	1.047	1.043	1.046	1.044	1.048	1.041	1.046	1.038	1.049	1.043	1.049	1.043	1.049	1.049	1.041	1.049	1.042	1.048	1.036	1.02	1.02	1.02
ACV	41.78		41.43		44.65		44.02		43.27		42.86		41.81		46.40		43.99		43.35		41.76		40.20		36.92	36.92	36.92

Contoh cari perhitungan :

Nomor contoh	Satuan	S17-10 ⁵ -7 (1)		S17-10 ⁵ -7 (2)		S17-10 ⁵ -7 (3)	
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Berat benda uji jenuh kering permukaan (Bj)	(gr)	518	519	522	525	525	525.5
Berat benda uji kering oven (Bk)	(gr)	500	501.5	500	506	500	502
Berat benda uji jenuh kering permukaan dalam air (Ba)	(gr)	304	314	304	316	303	317
Nomor Contoh	Rumus						
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Gravity)	Bk/(Bj-Ba)	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Gravity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2.4	2.5	2.4	2.5	2.4	2.5
Berat Jenis Semu (Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2.6	2.7	2.6	2.7	2.5	2.7
Penyerapan (Absorption)	(Bj-Bk)/Bk x 100%	3.6	3.5	4.4	3.8	5.0	4.7
Rata-rata Penyerapan				4.333			3.975
Rata-rata Berat Jenis				2.393			2.521

Item Pengujian	Indeks	S17-10 ⁶⁻⁷			S17-10 ⁶⁻¹⁴			S17-10 ⁶⁻²¹		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Berat Silinder Pengujian + Alas	W1	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5	3264.5
Berat Silinder Pengujian + Alas + Sampel (setelah dipadatkan)	W2	3675.5	3676	3675.5	3687.5	3675.5	3672	3688.5	3701	3685.5
Berat Awal Sampel	A' = W2 - W1	411	411.5	411	423	411	407.5	424	436.5	421
Setelah penekanan dan disaring 1 menit	B	162	179.5	173.5	170	171.5	172.5	190.5	192.5	188.5
Berat Sampel Lolos saringan 2,36 mm	C	248.5	232	237	252.5	239.5	235	233	243.5	232
Total	A = B + C	410.5	411.5	410.5	422.5	411	407.5	423.5	436	420.5
Selisih Total dengan Berat Awal Sampel (<1 gr)	A - A'	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5	0.5	0.5
Aggregate Crushing Value : B/A (%)	B/A (%)	39.464	43.621	42.266	40.237	41.727	42.331	44.982	44.151	44.828
Rata- rata ACV (%)			41.783			41.432		44.654		

a. Berat jenis curah = $\frac{B_k}{(B_j - B_a)}$

Benda Uji (S17-10⁵⁻⁷[1](-)) = $\frac{500}{(518-304)} = 2,3$

Benda Uji (S17-10⁵⁻⁷[2](-)) = $\frac{500}{(522-304)} = 2,3$

Benda Uji (S17-10⁵⁻⁷[3](-)) = $\frac{500}{(525-304)} = 2,3$

Rata-rata = $\frac{2,3+2,3+2,3}{3} = 2,3$

b. Berat jenis jenuh kering permukaan = $\frac{B_i}{(B_j - B_a)}$

Benda Uji (S17-10⁵-7[1](-)) = $\frac{518}{(518-304)} = 2,4$

Benda Uji (S17-10⁵-7[2](-)) = $\frac{522}{(522-304)} = 2,4$

Benda Uji (S17-10⁵-7[3](-)) = $\frac{525}{(525-304)} = 2,4$

Rata – rata = $\frac{2,4+2,4+2,4}{3} = 2,40$

c. Berat jenis semu = $\frac{B_k}{(B_k - B_a)}$

Benda Uji (S17-10⁵-7[1](-)) = $\frac{500}{(500-304)} = 2,6$

Benda Uji (S17-10⁵-7[2](-)) = $\frac{500}{(500-304)} = 2,6$

Benda Uji (S17-10⁵-7[3](-)) = $\frac{500}{(500-304)} = 2,6$

Rata – rata = $\frac{2,6+2,6+2,6}{3} = 2,6$

d. Penyerapan air = $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$

Benda uji (S17-10⁵-7[1](-)) = $\frac{518-500}{500} \times 100\% = 3,6\%$

Benda uji (S17-10⁵-7[2](-)) = $\frac{522-500}{500} \times 100\% = 4,4\%$

Benda uji (S17-10⁵-7[2](-)) = $\frac{525-500}{500} \times 100\% = 5\%$

Rata – rata = $\frac{3,6\%+4,4\%+5\%}{3} = 4,33\%$

e. Nilai ACV

$ACV = \frac{B}{A} \times 100\%$

Dimana:

ACV = Aggregate Crushing Value (%)

A = Berat awal sampel (gr)

B = Berat sampel lolos saringan 2,36 mm (gr)

Benda Uji (S17-10⁵-7[1](-)) = $\frac{162}{410,5} \times 100\% = 39,464\%$

$$\text{Benda Uji (S17-10}^5\text{-7[2](-))} = \frac{179,5}{411,5} \times 100\% = 43,621\%$$

$$\text{Benda Uji (S17-10}^5\text{-7[3](-))} = \frac{173,5}{410,5} \times 100\% = 42,266\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{39,464\% + 43,621\% + 42,266\%}{3} = 41,783\%$$

Lampiran 2 Rekap Data Hasil Penelitian Isolat Bakteri R20

Jenis Pengujian	SAMPEL																											
	R20 - 10 ⁵						R20 - 10 ⁶						R20 - 10 ⁷						KA - RCA						KA - RCA			
	7		14		21		7		14		21		7		14		21		7		14		21		7		14	21
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Penyerapan	4.30	4.53	4.17	3.71	4.17	4.20	4.27	4.19	4.30	3.39	3.83	3.93	3.83	4.03	4.30	3.53	4.23	3.98	4.87	5.22	4.80	5.18	4.70	4.61	1.93	1.93	1.93	
Berat Jenis	2.44	2.49	2.43	2.52	2.41	2.45	2.41	2.47	2.43	2.50	2.44	2.46	2.47	2.54	2.43	2.50	2.44	2.46	2.54	2.38	2.55	2.53	2.57	2.54	2.59	2.59	2.59	
Berat Isi	1.042	1.042	1.040	1.042	1.040	1.043	1.043	1.045	1.043	1.047	1.039	1.038	1.041	1.043	1.044	1.047	1.044	1.046	1.049	1.041	1.049	1.042	1.048	1.036	1.02	1.02	1.02	
ACV	43.04		41.86		43.93		42.94		43.84		44.61		45.33		45.24		44.38		43.35		41.76		40.20		36.92		36.92	36.92

Lampiran 3. Hasil ANOVA nilai Peningkatan Berat Isi Agregat Daur Ulang

Peningkatan berat isi

Tukey HSD^{a,b,c}

Isolat bakteri	N	Subset		
		1	2	3
KA	9	-,00878		
R20	27		,00152	
KM	9			,00467
S17	27			,00563
Sig.		1,000	1,000	,711

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 5,50E-006.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Peningkatan berat isi

Tukey HSD^{a,b}

Masa Inkubasi	N	Subset
		1
H7	24	,00167
H21	24	,00187
H14	24	,00296
Sig.		,147

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 5,50E-006.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.
- b. Alpha = ,05.

Peningkatan berat isi

Tukey HSD^{a,b,c}

Densitas sel	N	Subset	
		1	2
KA	9	-,00878	
10 ⁴ 6	18		,00244
10 ⁴ 5	18		,00328
KM	9		,00467
10 ⁴ 7	18		,00500
Sig.		1,000	,059

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 5,50E-006.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,857.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.



Lampiran 4. Hasil ANOVA nilai Peningkatan Berat Jenis Agregat Daur Ulang

Peningkatan berat jenis

Tukey HSD^{a,b,c}

Isolat bakteri	N	Subset		
		1	2	3
KA	9	-.0678		
KM	9		.0522	
R20	27		.0559	
S17	27			.1174
Sig.		1,000	.978	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Peningkatan berat jenis

Tukey HSD^{a,b,c}

Densitas sel	N	Subset		
		1	2	3
KA	9	-.0678		
KM	9		.0522	
10 ⁷	18		.0711	.0711
10 ⁶	18			.0933
10 ⁵	18			.0956
Sig.		1,000	.285	.091

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,857.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Peningkatan berat jenis

Tukey HSD^{a,b}

Masa Inkubasi	N	Subset	
		1	2
H7	24	.0492	
H21	24	.0608	
H14	24		.0792
Sig.		.223	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.
- b. Alpha = ,05.



Lampiran 5. Hasil ANOVA nilai Penurunan Penyerapan Agregat Daur Ulang

Penurunan penyerapan

Tukey HSD^{a,b,c}

Isolat bakteri	N	Subset		
		1	2	3
KM	9	-,6000		
KA	9		-,2144	
R20	27			,2122
S17	27			,2637
Sig.		1,000	1,000	,974

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,099.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Penurunan penyerapan

Tukey HSD^{a,b,c}

Densitas sel	N	Subset		
		1	2	3
KM	9	-,6000		
KA	9		-,2144	
10 ⁷	18			,1900
10 ⁵	18			,1939
10 ⁶	18			,3300
Sig.		1,000	1,000	,791

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,099.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,857.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

Penurunan penyerapan

Tukey HSD^{a,b}

Masa Inkubasi	N	Subset	
		1	2
H7	24	-,0896	
H21	24	,0183	
H14	24		,3012
Sig.		,466	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,099.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.
- b. Alpha = ,05.



Lampiran 6. Hasil ANOVA nilai Aggregate Crushing Value Agregat Daur Ulang

ACV

Tukey HSD^{a,b,c}

Isolat bakteri	N	Subset	
		1	2
KA	9	41,7700	
S17	27		43,3593
R20	27		43,9078
KM	9		43,9744
Sig.		1,000	,666

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,959.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 13,500.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.

ACV

Tukey HSD^{a,b}

Masa Inkubasi	N	Subset
		1
H21	24	43,3096
H7	24	43,3442
H14	24	43,6758
Sig.		,639

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,959.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24,000.
- b. Alpha = ,05.

ACV

Tukey HSD^{a,b,c}

Densitas sel	N	Subset		
		1	2	3
KA	9	41,7700		
10 [^] 5	18	42,7833	42,7833	
10 [^] 6	18		43,5894	43,5894
KM	9		43,9744	43,9744
10 [^] 7	18			44,5278
Sig.		,366	,213	,444

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,959.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,857.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = ,05.



Halaman ini sengaja dikosongkan



Lampiran 7. Logbook Penelitian

Logbook Kegiatan Penelitian Agregat Daur Ulang

Tanggal	Jam	Kegiatan	Pelaksanaan/Kendala	Dokumentasi
16-18 Februari 2021	10.00	Mempersiapkan ayakan dan agregat daur ulang	Didapatkan agregat daur ulang dengan ukuran 1 cm sampai 2 cm setelah diayak sebanyak 47 kg	 
19-23 Februari 2021	09.00	Menyaring agregat sesuai dengan ukuran yang digunakan yaitu ukuran 1cm - 1,4 cm	Didapatkan agregat daur ulang sesuai ukuran yang dibutuhkan yaitu sebanyak 45 kg	
8 April 2021	09.00	Merendam RCA (S17 dan kontrol media)	27 sampel RCA terendam inokulum S17 dan 9 sampel RCA terendam media tanpa bakteri	

<p>12 April 2021</p>		<p>Merendam RCA (R20)</p>	<p>27 sampel RCA terendam inokulum R20</p>
<p>15 April 2021</p>	<p>11.00</p>	<p>S17 & kontrol media masa inkubasi 7 hari dike ringkan dengan oven</p>	<p>Sampel di oven selama 24 jam untuk mempersiapkan pengujian penyerapan, berat jenis dan berat isi</p>
<p>19 April 2021</p>	<p>09.00</p>	<p>S17 & kontrol media masa inkubasi 7 hari direndam air</p>	<p>Sampel di rendam selama 7 hari</p>





	10.00	 <p>R20 masa inkubasi 7 hari dikeringkan dengan oven</p>	<p>Sampel di oven selama 24 jam untuk mempersiapkan pengujian penyerapan, berat jenis dan berat isi</p>	
20 April 2021	09.00	<p>S17 & kontrol media masa inkubasi 7 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi</p>	<p>Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi</p>	
	12.00	<p>R20 masa inkubasi 7 hari direndam air</p>	<p>Sampel di rendam selama 7 hari</p>	<p>-</p>

	12.00	Merendam RCA kontrol akuades masa inkubasi 7 dan 14 hari	6 sampel RCA terendam akuades	
21 April 2021	08.00	R20 masa inkubasi 7 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	-
22 April 2021	11.00	S17 & kontrol media masa inkubasi 14 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam untuk mempersiapkan pengujian penyerapan, berat jenis dan berat isi	-
26 April 2021	09.00	S17 & kontrol media masa inkubasi 14 hari direndam air	Sampel di rendam selama 7 hari	-

	11.00	 <p>R20 masa inkubasi 14 hari dikeringkan dengan oven</p>	<p>Sampel di oven selama 24 jam untuk mempersiapkan pengujian penyerapan, berat jenis dan berat isi</p>
27 April 2021	09.00	<p>S17 & kontrol media masa inkubasi 14 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi</p>	<p>Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi</p>



28 April 2021	11.00	R20 masa inkubasi 14 hari direndam air	Perendaman dilakukan selama 24 jam untuk melihat penyerapan dari agregat
		Kontrol akuades masa inkubasi 7 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam
	09.00	R20 masa inkubasi 14 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi
	12.00	Kontrol akuades masa inkubasi 7 hari direndam air	Perendaman dilakukan selama 24 jam untuk melihat penyerapan dari agregat
	12.00	Merendam RCA kontrol akuades masa inkubasi 21 hari	3 sampel RCA terendam akuades



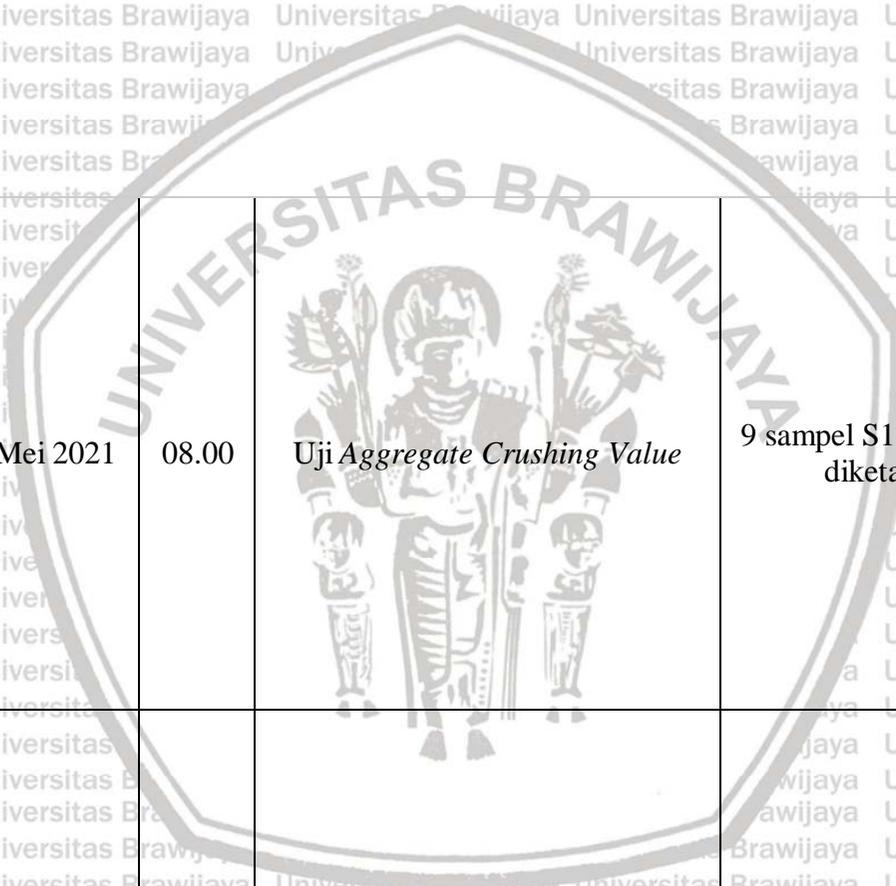


29 April 2021	09.00	S17 & kontrol media masa inkubasi 21 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	-
	10.00	Kontrol akuades masa inkubasi 7 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	-
3 Mei 2021	09.00	S17 & kontrol media masa inkubasi 21 hari direndam air	Perendaman dilakukan selama 24 jam untuk melihat penyerapan dari agregat	-
		R20 masa inkubasi 21 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	
	10.00			
4 Mei 2021	09.00	S17 & kontrol media masa inkubasi 21 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	-
	11.00	R20 masa inkubasi 21 hari direndam air	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	

	12.00	Kontrol akuades masa inkubasi 14 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	-
5 Mei 2021	09.00	R20 masa inkubasi 21 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	
	11.00	Kontrol akuades masa inkubasi 14 hari direndam air	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	-
6 Mei 2021	10.00	Kontrol akuades masa inkubasi 14 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	-
19 Mei 2021	09.00	Kontrol akuades masa inkubasi 21 hari dikeringkan dengan oven	Sampel di oven selama 24 jam lalu direndam air selama 24 jam	



20 Mei 2021	09.00	Kontrol akuades masa inkubasi 21 hari direndam air	Perendaman dilakukan selama 24 jam untuk melihat penyerapan dari agregat	
21 Mei 2021	09.00	Kontrol akuades masa inkubasi 21 hari diuji penyerapan air, berat jenis, dan berat isi	Didapatkan hasil data penyerapan, berat jenis dan berat isi	
25 Mei 2021	08.00	Uji <i>Aggregate Crushing Value</i>	6 sampel kontrol akuades, 3 sampel S17, dan 3 sampel R20 diketahui nilai ACV	



27 Mei 2021	08.00	Uji <i>Aggregate Crushing Value</i>	9 sampel S17 dan 12 sampel R20 diketahui nilai ACV
28 Mei 2021	08.00	Uji <i>Aggregate Crushing Value</i>	15 sampel S17 dan 12 sampel R20 diketahui nilai ACV





08 Juni 2021

08.00

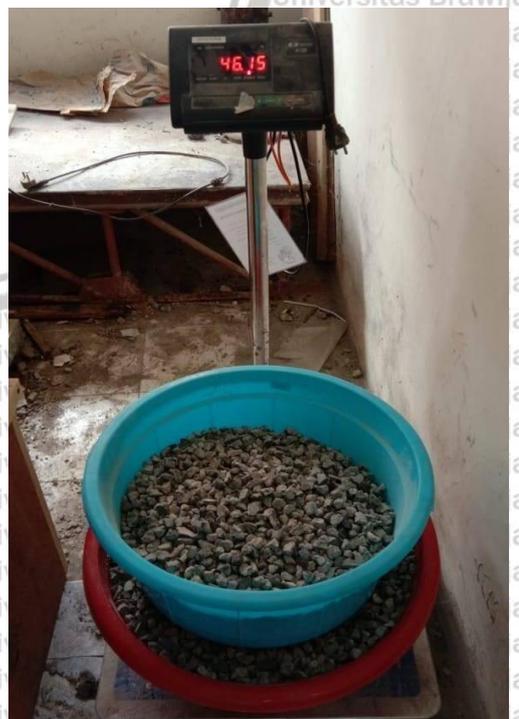
Uji Aggregate *Crushing Value*

3 sampel kontrol NCA diketahui nilai ACV



Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian

1. Mempersiapkan agregat daur ulang dan agregat alami sesuai yang dibutuhkan dalam penelitian



2. Mengukur berat agregat sesuai sampel yang direncanakan



3. Perendaman agregat dengan air



4. Perendaman agregat dengan media dan bakteri



5. Pengujian Berat Jenis, Penyerapan, Berat Isi

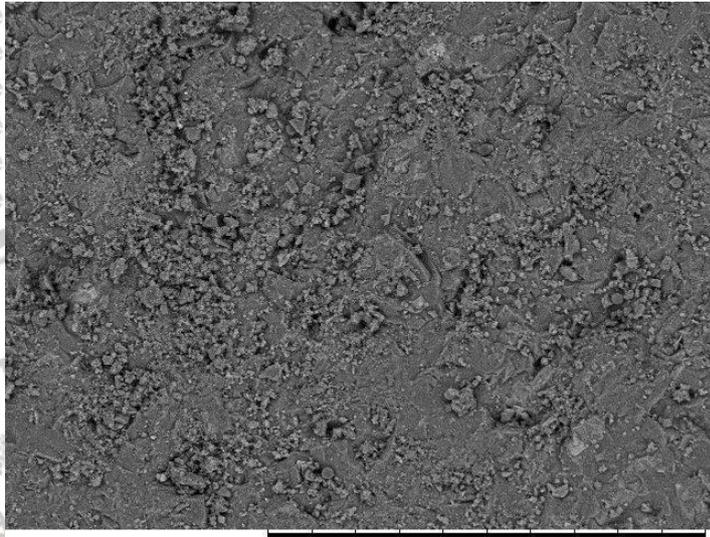
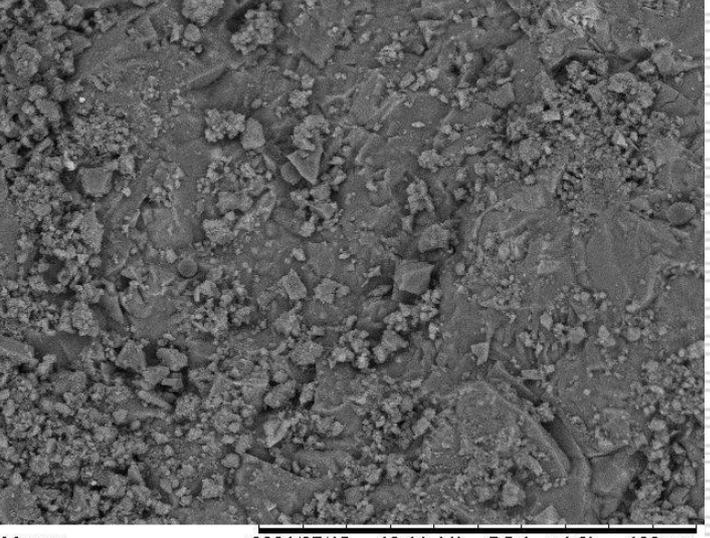


6. Pengujian Aggregate Crushing Value

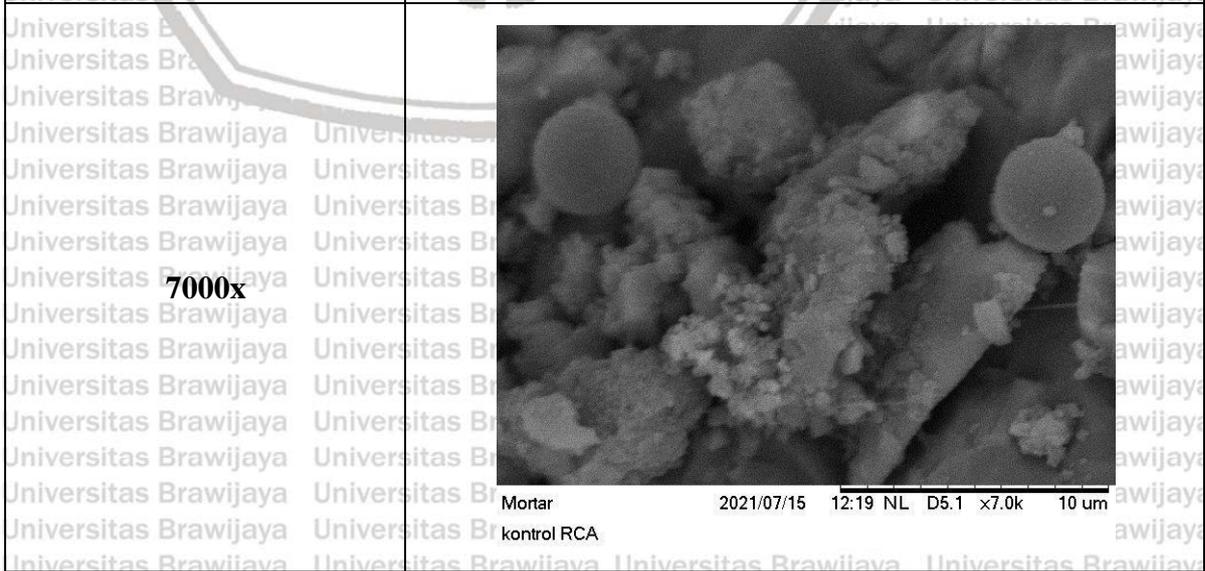
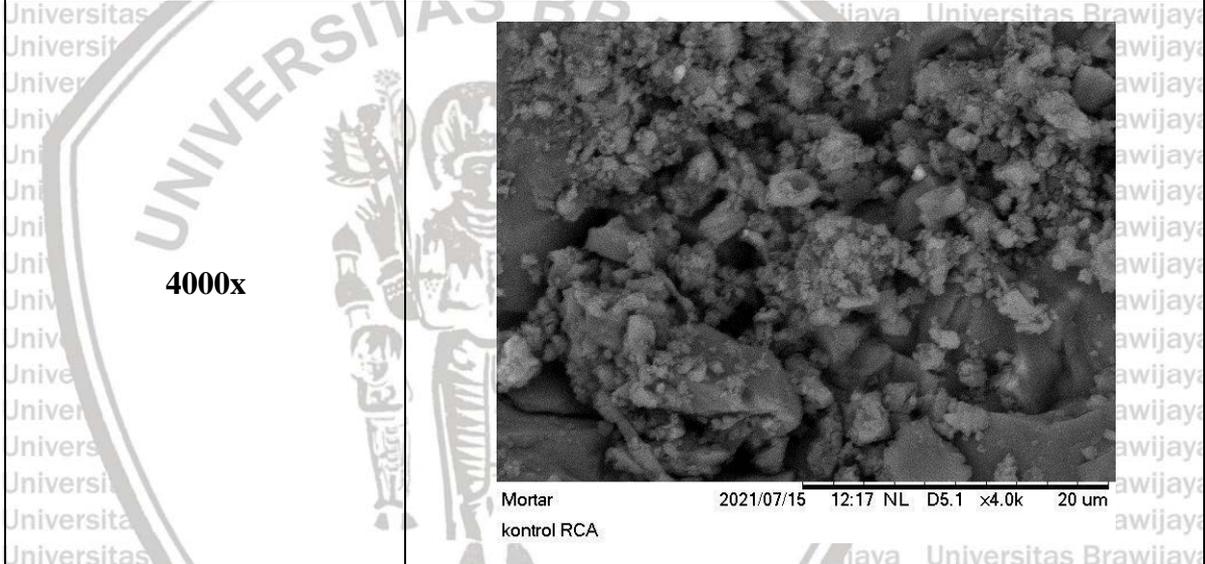
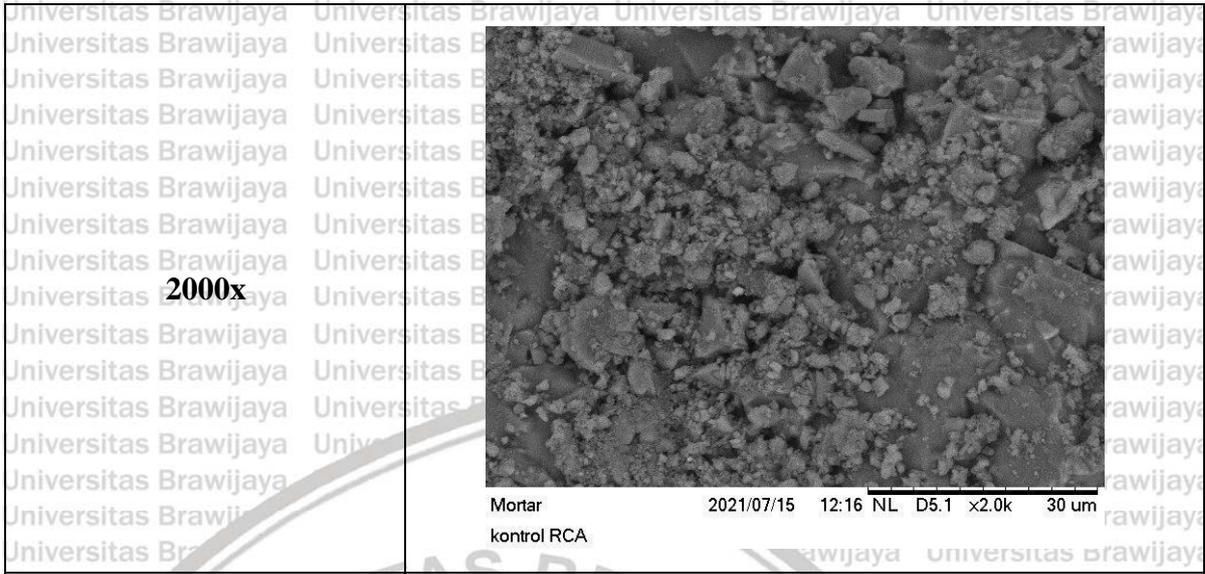




Lampiran 9 Hasil Scanning Electron Microscope Kontrol RCA

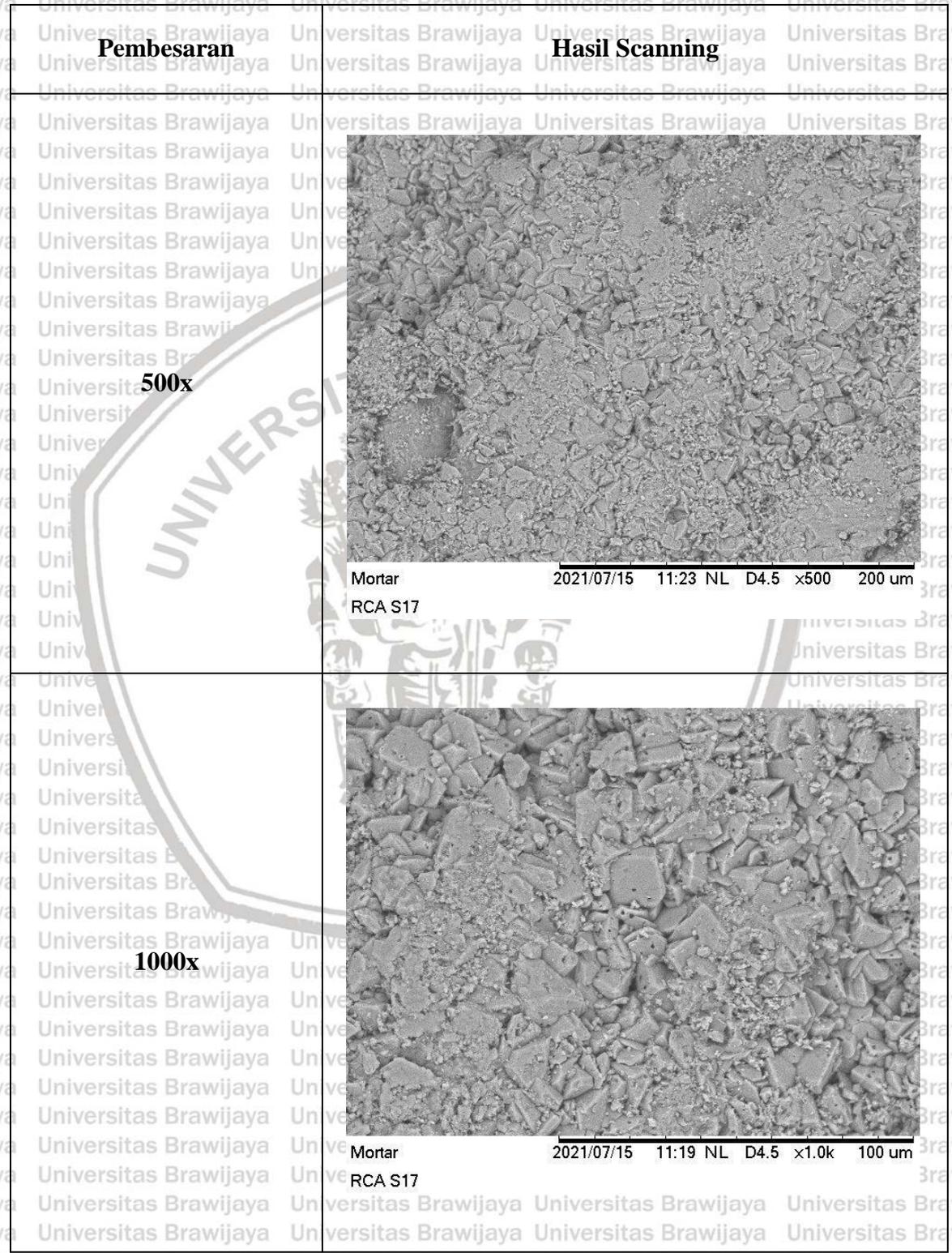
Pembesaran	Hasil Scanning
500x	 <p>Mortar kontrol RCA</p>
1000x	 <p>Mortar kontrol RCA</p>

Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

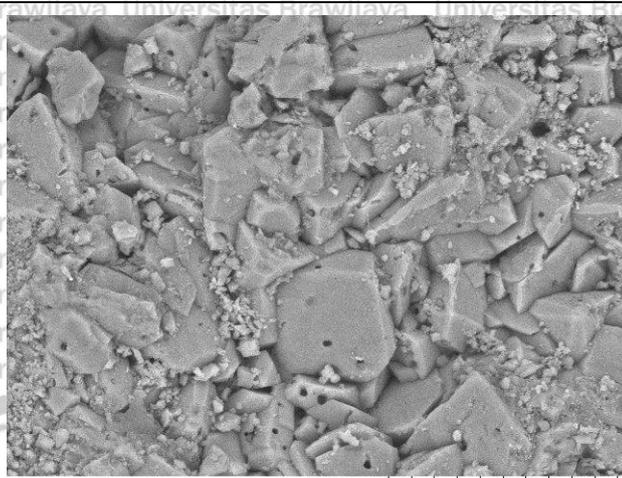


Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Lampiran 10 Hasil *Scanning Electron Microscope* Isolat Bakteri S17 Densitas Sel 10^5 sel/mL dengan Masa Inkubasi 14 Hari

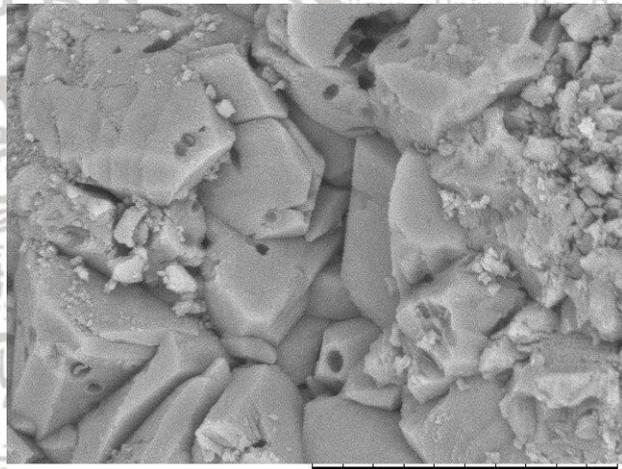


2000x



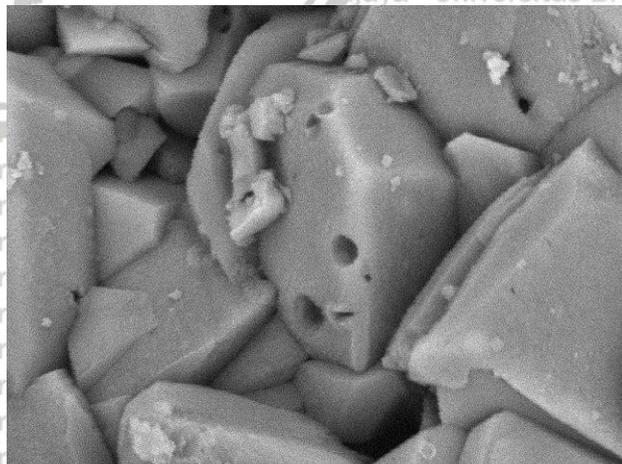
Mortar 2021/07/15 11:24 NL D4.5 x2.0k 30 um
RCA S17

4000x



Mortar 2021/07/15 11:26 NL D4.6 x4.0k 20 um
RCA S17

7000x



Mortar 2021/07/15 11:28 NL D4.6 x7.0k 10 um
RCA S17