

**KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENAMBAHAN *AGENT*
BAKTERI DALAM MEDIA ABU VULKANIK**



HENDRY ANJAR PURWANTO

5415110201

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

ABSTRAK

HENDRY ANJAR PURWANTO. **Karakteristik Beton dengan Penambahan Agent Bakteri Dalam Media Abu Vulkanik**. Skripsi, Jakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Juni 2017.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan pengaruh penambahan *Bacillus altitudinis* dalam media abu vulkanik terhadap sifat fisik, sifat mekanik dan ketahanan lingkungan asam pada beton.

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan benda uji beton silinder ukuran 10 x 20 cm dengan jumlah sampel sebanyak 10 buah dari masing-masing variasi abu vulkanik (5 buah untuk uji kuat tekan dan densitas, 4 buah untuk perlakuan asam, 1 buah untuk uji absorpsi). Bakteri di integrasi ke dalam abu vulkanik dengan variasi 0%, 1%, 1.5%, dan 2% abu vulkanik terhadap berat semen sebagai media untuk melindungi bakteri dalam kondisi basa tinggi pada beton.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *Bacillus altitudinis* dalam media abu vulkanik 1.5% , memiliki nilai kuat tekan paling tinggi 16.93 MPa, nilai densitas 2.63 g/cm³, dan nilai absorpsi sebesar 6.93 %. Tingginya nilai kuat tekan dan densitas pada variasi 1.5% dikarenakan bakteri bisa berkembang dengan baik dan menghasilkan kalsit untuk mengisi rongga abu vulkanik. Sedangkan nilai terkecil absorpsi pada variasi 1.5% menunjukkan rendahnya serapan pada beton karena rongga abu vulkanik terisi secara menyeluruh oleh kalsit. Untuk lingkungan asam, beton tidak dapat mencapai nilai kuat tekan maksimal karna bakteri tidak bekerja dan tidak menghasilkan kalsit untuk mengisi rongga abu vulkanik sehingga beton mudah rapuh.

Kata Kunci : *BioConcrete*, *Bacillus altitudinis*, Abu Vulkanik, Beton.

ABSTRACT

HENDRY ANJAR PURWANTO. *The Characteristics of Concrete with Addition of Bacterial Agents in Volcanic Ash.* Jakarta: Bachelor Thesis, Study Program Education of Building Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, June 2017.

This research aims to discover the effect of addition of Bacillus altitudinis volcanic ash in the media against physical properties, mechanical properties and durability of concrete in acid environment.

A method of this research uses experimental methods with an object of cylindrical concrete with size 10 x 20 cm by the number 10 samples from each variation volcanic ash (5 object to compressive strength and density , 4 object for acid treatment , 1 object for absorption test). Bacteria on integration into the volcanic ash with the variation of 0% , 1% , 1.5 % , and 2 % volcanic ash against heavy cement as a medium to protect the bacteria in the condition of concrete.

The results of the study showed that addition Bacillus altitudinis in media volcanic ash 1.5 % , having value the highest compressive strength 16.93 MPa , value the density of 2.63 g/cm³ , and the absorption of 6.93 % . The high value of compressive strength and the density in 1.5% variation because of bacteria to develop well and yielding calcite to fill a cavity of volcanic ash. While the smallest absorption upon variations 1.5 % show that absorption is low on the concrete because cavity volcanic ash full filled thoroughly by calcite. To acidic environments , concrete not reach maximum value of compressive strength because the bacteria are undevelop and not producing calcite to fill a cavity volcanic ash so concrete easy brittle.

Keywords : *BioConcrete, Bacillus altitudinis, Volcanic Ash, Concrete*

HALAMAN PERSETUJUAN

Nama : Hendry Anjar Purwanto
No.Registrasi : 5415110201
Program Studi : Pendidikan Teknik Bangunan
Judul Skripsi : “Karakteristik Beton Dengan Penambahan *Agent* Bakteri
Dalam Media Abu Vulkanik”

Jakarta, 15 Juni 2017

Mengetahui,

Pembimbing I



Ananto Nugroho, ST, M.Eng

NIP.19840115 200801 1 001

Pembimbing II



Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng

NIP.19841207 201012 2 003

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Ananto Nugroho, ST, M.Eng (Dosen Pembimbing Materi)		18/0-2017
Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng (Dosen Pembimbing Metodologi)		18 Agustus 2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
R.Eka Murtinugraha, M.Pd (Dosen Ketua Sidang)	 	21/8 2017
Anisah, MT (Dosen Penguji I)		16/08 2017
Dr. Gina Bachtiar, MT (Dosen Penguji II)		16/08 2017

Tanggal Lulus : 15 Juni 2017

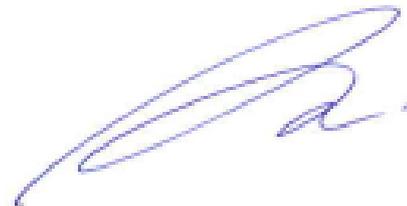
HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 15 Juni 2017

Yang Bertanda Tangan



Hendry Anjar Purwanto

5415110201

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena izin dan kehendaknya penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Karakteristik Beton Dengan Penambahan *Agent* Bakteri Dalam Media Abu Vulkanik" dari hasil penelitian serta Tanya jawab langsung dengan dosen pembimbing Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kepada Allah SWT atas berkas rahmat dan hidayahnya skripsi ini bisa saya selesaikan.
2. Kepada R. Eka Murti Nugraha, M.Pd. selaku Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, selaku Dosen Ketua Sidang, serta sebagai Koordinator Penyelesaian Skripsi.
3. Kepada Dra. Daryati, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik
4. Ananto Nugroho, ST, M.Eng selaku Pembimbing Puslit Biomaterial LIPI Cibinong Bogor Dan Ririt Aprilin S, M. Sc. Eng selaku Dosen Pembimbing Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
5. Anisah, MT. dan Dr. Gina Bachtiar, MT. selaku Dosen Penguji Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
6. Kepada Staf Laboratorium Puslit Biomaterial LIPI Cibinong Bogor.
7. Ayahanda Rudy Irianto, S.Pd tercinta dan Ibunda Adi Sri Rahayu tersayang beserta Adik Hidayat Taufik Akbar yang penulis sayangi serta keluarga, mereka yang telah memberikan dorongan mental dan spiritual yang tak ternilai harganya.

8. Sahabat, Ahmad Waluyo, Rahmat Husain, Guntur Wisnu, Azkiya Banata (UIN) yang telah membantu dalam proses penelitian ini.
9. Serta untuk teman-teman mahasiswa Pendidikan Teknik Bangunan angkatan 2011 terutama kelas Reguler “Pendopo Sipil” yang telah memberikan bantuan dan partisipasi dalam penyelesaian penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi tercapainya penelitian serupa pada masa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian Skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah khasanah ilmu pengetahuan bidang teknik sipil bagi yang membacanya.

Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Jakarta, 15 Juni 2017

Penulis

Hendry Anjar Purwanto

5415110201

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Perumusan Masalah	4
1.5 Kegunaan Penelitian	4
BAB 2 KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR, HIPOTESIS.....	5
2.1 Kerangka Teoritis.....	5
2.1.1 Beton	5
2.1.2 Bahan Penyusun Beton	7
2.1.3 Abu Vulkanik.....	12
2.1.4 <i>BioConcrete</i>	16
2.1.5 Sifat Mekanis Beton.....	17
2.2 Penelitian Relevan.....	20
2.3 Kerangka Berfikir	22

2.4 Hipotesis.....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Tujuan Penelitian	24
3.2 Metode Penelitian	24
3.3 Teknik Pengambilan Sampel.....	24
3.3.1 Populasi	25
3.3.2 Sampel.....	25
3.4 Prosedur Penelitian	25
3.4.1 Persiapan Bahan dan Peralatan	25
3.4.2 Pembiakan Bakteri	30
3.4.3 Impregnasi Bakteri <i>Bacillus altitudinis</i> kedalam Abu Vulkanik	30
3.4.4 Pembuatan Benda Uji.....	31
3.4.5. Perawatan Benda Uji.....	32
3.4.6. Tahap pengujian benda uji	33
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	34
3.6 Teknik Analisis Data.....	34
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	36
4.1 UJI PENDAHULUAN.....	36
4.1.1 Pengujian Bahan Penyusun Beton	36
4.1.2 Kebutuhan Bahan Campuran Beton.....	37
4.2 Hasil Pengujian <i>BioConcrete</i>	38
4.2.1 Nilai Slump	38
4.2.2 Sifat Mekanis <i>BioConcrete</i>	38
4.2.3 Sifat Fisik <i>BioConcrete</i>	40
4.2.4 Uji Sifat Kimia <i>BioConcrete</i>	41
4.3 Pembahasan Hasil Penelitian	43

4.3.1 Uji Slump	44
4.3.2 Sifat Mekanikal <i>BioConcrete</i>	45
4.3.3 Sifat Fisik <i>BioConcrete</i>	47
4.3.4 Sifat Kimia <i>BioConcrete</i>	48
4.3.5 Analisa Keseluruhan	49
4.4 Keterbatasan Penelitian	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Semen	8
Tabel 2.2 Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus.....	10
Tabel 2.3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar	11
Tabel 2.4 Kandungan Kimia Abu Vulkanik Gunung Kelud.....	16
Tabel 3.1 Daftar Jumlah Kebutuhan Sampel	25
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Bahan	36
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	38
Tabel 4.3 Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari	39
Tabel 4.4 Nilai Kuat Tekan Umur 28 Hari (Data Eliminasi).....	40
Tabel 4.5 Nilai Uji Absorpsi	41
Tabel 4.6 Nilai Uji Densitas.....	41
Tabel 4.7 Nilai Uji Kuat Tekan Perendaman Asam Sulfat	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram alur penelitian	35
Gambar 4.1	Pengujian kuat tekan beton	39
Gambar 4.2	Benda uji kering oven	40
Gambar 4.3	Perendaman benda uji	40
Gambar 4.4	Perendaman dengan asam sulfat	42
Gambar 4.5	Potongan <i>BioConcrete</i> untuk uji Titrasi.....	43
Gambar 4.6	Permukaan <i>BioConcrete</i> bersifat basa.....	43
Gambar 4.7	Permukaan <i>BioConcrete</i> bersifat asam	43
Gambar 4.8	Grafik hasil Pengujian <i>Slump</i>	44
Gambar 4.9	Grafik hasil uji kuat tekan rata-rata.....	45
Gambar 4.10	Grafik hasil uji kuat tekan rata-rata (Data Eliminasi)	46
Gambar 4.11	Grafik nilai uji Absorpsi.....	47
Gambar 4.12	Grafik nilai uji Densitas	48
Gambar 4.13	Grafik nilai kuat tekan rendaman asam sulfat	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data bahan & perhitungan <i>Mix Design</i>	56
Lampiran 2	Mix Design variasi 0 %	57
Lampiran 3	Mix Design variasi 1 %	58
Lampiran 4	Mix Design variasi 1.5 %	59
Lampiran 5	Mix Design variasi 2 %	60
Lampiran 6	Nilai kuat tekan	61
Lampiran 7	Nilai kuat tekan (Data eliminasi)	62
Lampiran 8	Nilai Densitas	63
Lampiran 9	Nilai Absorpsi	64
Lampiran 10	Dokumentasi	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mayoritas konstruksi di Indonesia mulai dari gedung bertingkat sampai rumah sederhana menggunakan beton. Kemampuan beton yang dominan adalah, kemampuan menahan beban tekan, sehingga kuat tekan beton merupakan indikator penting dalam perencanaannya. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton dari material penyusunnya ditentukan oleh faktor air semen, porositas dan faktor intrinsik lainnya. Pembuatan beton yang tidak sesuai dengan standar sering menimbulkan masalah pada produk akhirnya, antara lain reputasi atau mutu beton yang jelek sebagai materi bangunan.

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusun yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland Cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture atau additive*) (Mulyono,2004). Pada beton dapat pula ditambahkan bahan lain diantaranya *fly ash, slag, silica fume*, dan abu vulkanik. Secara umum beton adalah material utama yang digunakan dalam pembuatan bangunan. Beton banyak digunakan karena keunggulan-keunggulannya antara lain beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperatur yang tinggi, dan biaya pemeliharaan yang kecil atau mudah dalam perawatan (Mulyono, 2005).

Di samping itu, beton juga memiliki kekurangan, salah satunya keretakan alami yang terjadi pada beton. Keretakan pada permukaan beton dapat ditanggulangi dengan menambal bagian permukaan yang retak. Permasalahan lain jika keretakan tersebut terdapat di dalam beton yang tidak dapat ditambal.

Dewasa ini telah banyak penemuan untuk mengatasi masalah keretakan di bagian dalam beton. Salah satunya dengan menggunakan materi alam berbentuk bakteri yang bisa dengan alami mengisi keretakan di dalam beton. Bakteri yang digunakan harus bisa beradaptasi dengan kondisi di dalam beton.

Bakteri ini diperoleh dari batuan karst yang berada di gunung Kidul kota Wonosari Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebagian wilayah ini merupakan perbukitan dan pegunungan kapur. Pegunungan Kidul terbentuk dari batu gamping/karst, menandakan bahwa masa lalu daerah ini merupakan dasar laut. Temuan fosil hewan laut mendukung anggapan ini. Daerah yang terbentuk dari sebagian batu gamping/karst ini sering mengalami pengendapan kalsium karbonat oleh bakteri yang terdapat di dalam batuan karst. Bakteri yang terdapat pada kawasan karst ini berbentuk basil (batang) sering dikenal dengan nama *Bacillus altitudinis* yang tergolong dalam bakteri gram positif dan umumnya tumbuh pada media yang mengandung oksigen. Kelebihan dari anggota *Bacillus* ini mudah merespon terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, oleh karena itu *Bacillus* memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah (Yatim Faisal, 2004). Studi tentang pengendapan kalsium karbonat oleh bakteri untuk konstruksi beton telah banyak dilakukan. Tujuannya untuk memperoleh bakteri yang potensial untuk digunakan dalam konstruksi beton.

Dalam hal ini, bakteri yang akan di masukan ke dalam campuran beton membutuhkan ruang hidup atau media yang sesuai untuk membuat bakteri tetap hidup di dalam beton. Materi abu vulkanik dari Gunung Kelud yang meletus pada tahun 2014 diketahui mengandung silica (SiO_2) akan dimanfaatkan sebagai media untuk tempat hidup bakteri pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji SEM (*Scan Electronic Microscope*) abu vulkanik memiliki rongga $\pm 50 \mu\text{m}$ dan sesuai dengan ukuran bakteri $30 \mu\text{m}$. Kandungan silika dalam jumlah besar pada abu vulkanik diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton. Sampai dengan saat ini abu vulkanik Gunung Kelud belum memiliki nilai ekonomis bagi masyarakat, sehingga belum dimanfaatkan dengan baik.

Dari latar belakang diatas, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri terhadap karakteristik beton dengan memanfaatkan abu vulkanik sebagai media hidup bakteri yang akan dicampurkan dengan beton tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Apakah bakteri dapat di imobilisasi kedalam media abu vulkanik ?
2. Apakah bakteri dapat terintegrasi kedalam matriks beton ?
3. Apakah penambahan bakteri dalam media abu vulkanik dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik beton ?

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk menghindari terjadinya salah tafsir maka peneliti memberikan batasan dari judul ini, batasan tersebut meliputi :

1. Bakteri yang digunakan adalah *Bacillus altitudinis* diperoleh dari Pusat Penelitian Biomaterial LIPI, hasil isolat dari gunung karst di daerah Gunung Kidul.

2. Media yang digunakan untuk hidup bakteri adalah Abu Vulkanik dari erupsi Gunung Kelud tahun 2014.
3. Campuran beton yang digunakan adalah beton normal dengan rasio : 1 PPC : 2 PS : 3 KR , dengan fas 0,65
4. Karena terbatasnya ketersediaan bakteri maka, variasi penambahan abu vulkanik terhadap berat semen yang digunakan adalah 0% ; 1% ; 1,5% ; 2%
5. Pengujian terbatas pada uji fisik beton, uji mekanik, dan uji ketahanan asam.

1.4 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi dasar analisa dalam penelitian ini adalah :

Apakah penambahan bakteri dengan media abu vulkanik dalam beton normal dapat memperbaiki / meningkatkan sifat fisik dan mekanik beton ?

1.5 Kegunaan Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat untuk pemanfaatan bakteri dan abu vulkanik dalam pembuatan beton normal
2. Dari pemanfaatan tersebut dapat mengurangi kerugian dampak pelapukan dan erupsi abu vulkanik gunung berapi.

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR, HIPOTESIS

2.1 Kerangka Teoritis

2.1.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Dalam pengertian umum beton berarti campuran bahan bangunan berupa pasir dan kerikil atau koral kemudian diikat semen bercampur air (SNI 03-2847-2002). Sifat beton berubah karena sifat semen, agregat dan air, maupun perbandingan pencampurannya. Untuk mendapatkan beton optimum pada penggunaan yang khas, perlu dipilih bahan yang sesuai dan dicampur secara tepat.

Beton banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Bahan tambah yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian atau seluruh semen guna meminimalisir penggunaan semen dan pada dasar perbandingan tertentu agar tidak merusak kekuatan beton itu sendiri. Terkadang satu atau lebih bahan aditif yang ditambahkan guna menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan (McCormac, 2003). Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat bahan dasar tersebut diatas, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan (Tjokrodinuljo, 1996).

Faktor-faktor yang membuat beton banyak digunakan karena memiliki keunggulan-keunggulannya antara lain :

- a. Kemudahan pengolahannya

- b. Material yang mudah didapat.
- c. Kekuatan tekan tinggi.
- d. Daya tahan yang tinggi terhadap api dan cuaca.

Selain memiliki keunggulan – keunggulan seperti disebutkan di atas, beton juga memiliki kekurangan seperti berikut :

- a. Bentuk yang sudah dibuat sulit diubah.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. Daya pantul suara yang besar.

Menurut SK SNI 03-3449-2002 beratnya beton dibedakan menjadi 4 yaitu :

- a. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi antara 2200 kg/m^3 s/d 2500 kg/m^3 dengan menggunakan agregat alam yang dipecah. Agregat kasar yang umumnya digunakan adalah kerikil, berat jenisnya antara 2,5 s/d 2,7 kg/dm^3 . Beton normal memiliki kuat tekan 15 MPa – 40 MPa pada umur beton 28 hari, modulus elastisnya 14000 - 41000 MPa.
- b. Beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil pembakaran *shale*, lempung, *slates*, *residu slag*, residu batu bara, dan yang lainnya yang merupakan hasil pembakaran vulkanik. Berat isi beton sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 MPa. Sedangkan untuk berat jenis agregat ringannya berkisar antara 1,0 s/d 1,8 atau lebih rendah dari berat jenis agregat untuk beton normal.

- c. Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar, biasanya lebih dari 4,0 dibandingkan dengan dengan agregat biasa dengan berat jenis 2,6 yaitu berkisar antara 4,0–4,5 seperti barium sulfat, biji besi, *magnetit*, *limonite*, *ilmenite*, *hematite*.
- d. Beton massa (*mass concrete*), dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, jembatan, dan lain-lain. Batuan yang digunakan dapat lebih besar dari yang disyaratkan sampai 150 mm, dengan slump rendah yang akan mengurangi jumlah semen.

2.1.2 Bahan Penyusun Beton

2.1.2.1 Semen Portland

Semen Portland dibuat dengan beberapa langkah sehingga sangat halus dan memiliki sifat adesif maupun kohesif. Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan, suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Secara umum kandungan Semen Portland ialah kapur, silika, dan alumina. Ketiga bahan dasar tersebut dicampur dan dibakar dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Setelah itu kemudian dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan seperti bubuk kemudian ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2 sampai 4 persen sebagai bahan pengontrol waktu pengikat (Tjokrodimuljo, 1996).

Bahan dasar pembentuk Semen Portland terdiri kapur, silika, alumina dan oksida besi (ASTM C-150). Ketika semen dicampur dengan air maka terjadilah reaksi kimia antara campuran-campurannya dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia lain yang menyebabkan ikatan dan pengeras dalam semen Portland yaitu Trikalsium Aluminat (C_3A), Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Tetra Kalsium Aluminoferrite (C_4AF) (Rahmayanti, 2008).

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Semen

OKSIDA	KANDUNGAN %
Kapur (CaO)	64,67
Silika (SiO₂)	21,04
Alumina (Al₂O₃)	6,16
Besi (Fe₂O₃)	2,58
Magnesium(MgO)	2,62

(Sumber S. Mindesss, Francis Y. dan D. Darwin, 2003)

Semen yang digunakan pada pekerjaan konstruksi harus sesuai dengan semen yang digunakan pada perhitungan proporsi campuran beton, yang berkaitan dengan kekuatan dan karakteristik yang harus diperhatikan.

2.1.2.2 Agregat Halus

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Agregat halus pada penelitian ini menggunakan jenis agregat halus yaitu pasir alami.

Syarat Agregat halus menurut ASTM C.33 yang dikutip oleh Mulyono (2004) yaitu:

- a. Modulus halus butir 2,3 sampai 3,1

- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau no. 200) dalam persen berat maksimum. Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3%, untuk beton jenis lainnya sebesar 5%.
- c. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
- d. Kandungan arang dan lignit. Bila tampak permukaan beton dipandang penting (beton akan diekspos), maksimum 0,5%. Beton jenis lainnya, maksimum 1,0%.
- e. Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3%, tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari pada warna standar. Jika warnanya lebih tua maka ditolak kecuali warna lebih tua timbul karena sedikit adanya arang lignit atau yang sejenisnya. Ketika diuji dengan uji perbandingan kuat tekan beton yang dibuat dengan pasir standar silika hasilnya menunjukkan nilai lebih besar dari 90%.
- f. Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab atau yang berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- g. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat maksimum 15%.

Agregat dinilai dari tingkat kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatan pada pasta semen, porositas dan penyerapan air dapat mempengaruhi daya tahan beton terhadap serangan alam dari luar dan ketahanan terhadap penyusutan selama proses penyaringan agregat. (Daryanto, 1994).

Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam standar ASTM C 33/ 03 “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*”.

Tabel 2.2 Gradasi Saringan Ideal Agregat Halus

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5	100	100
4,75	95-100	97,5
2,36	80-100	90
1,18	50-85	67,5
0,6	25-60	42,5
0,3	5-30	17,5
0,15	0-10	5

(Sumber ASTM C 33/ 03 “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*”)

2.1.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar didefinisikan sebagai butiran yang tertahan saringan 4,75 mm (No 4 standar ASTM). Agregat kasar sebagai bahan campuran untuk membentuk beton dapat berupa, sebagai berikut:

- a. Kerikil adalah bahan yang terjadi karena hasil; disintegrasi alami dari batuan dan terbentuklah agak bulat serta permukaan yang licin atau diperoleh dengan cara meledakkan, memecah ataupun menyaring.
- b. Batu pecah adalah batuan yang diperoleh dari batu yang dipecah menjadi pecahan-pecahan berukuran 5-70 mm. Butir-butirnya berbentuk tajam sehingga sedikit lebih memperkuat betonnya.

Syarat-syarat untuk agregat kasar yang dipakai sebagai bahan campuran adukan beton sesuai standar SNI - 03 - 2847 – 2002 adalah sebagai berikut:

- a. Agregat kasar mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm

- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan dari berat kering).
- c. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 4
- d. Keausan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan mesin *Los Angeles* dengan syarat-syarat tertentu.
- e. Besar butiran agregat maksimal tidak boleh lebih dari $1/5$ jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan $1/3$ dari tebal plat, atau $3/4$ dari jarak bersih minimal antara batang-batang atas berkas tulangan.

Persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton berdasarkan standar yang direkomendasikan ASTM C 33/ 03 (lihat Tabel 2.3).

Table 2.3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25	100	100
19	90-100	95
12,5	-	-
9,5	20-55	37,5
4,75	0-10	5
2,36	0-5	2,5

(Sumber ASTM C 33/ 03 “*Standard Spesification for Concrete Aggregates*”)

2.1.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar dalam pembuatan dan perawatan beton yang sangat penting. Air diperlukan untuk beraksi dengan semen untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butri agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen. Karena beton yang mempunyai proporsi air sangat kecil menjadi kering dan sangat sukar dipadatkan, maka dibutuhkan tambahan air untuk menjadi pelumas.

Dengan catatan bahwa tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan menjadi rendah serta betonnya menjadi porous (Tjokrodimulyo, 1996).

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi fas, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini, nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai fas minimum yang diberikan 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat tergantung pada faktor air semen yang digunakan dan kehalusan butir semennya (Tri Mulyono, 2005).

2.1.3 Abu Vulkanik

Abu vulkanik yang terbentuk selama letusan gunung berapi, menghasilkan letusan freatomagmatik di arus piroklastik (piroklastik: salah satu hasil letusan gunung berapi yang bergerak dengan cepat dan terdiri dari gas panas, abu vulkanik dan bebatuan) erupsi eksplosif terjadi ketika magma terdekompresi, hingga memungkinkan zat volatile terlarut (dominan air dan karbon dioksida) untuk keluar menjadi gelembung-gelembung gas. (Nadia Linni, 2015:13) Karena semakin banyak gelembung yang dihasilkan, maka akan menurunkan kepadatan magma, yang membuat zat volatile dengan cepat menaiki saluran.

Abu vulkanik juga diproduksi selama letusan freatomagmatik. Selama letusan ini fragmentasi terjadi ketika magma kontak dengan badan air (seperti laut, danau dan rawa-rawa) air tanah, salju atau es sebagai magma yang secara signifikan lebih panas dari titik didih air.

Arus padat piroklastik juga dapat menghasilkan partikel abu. Ini biasanya dihasilkan oleh runtuh kubah lava atau runtuhnya kolom erupsi. Dalam arus padat piroklastik, abrasi partikel terjadi ketika partikel berinteraksi satu sama lain menghasilkan penurunan ukuran butir dan memproduksi partikel abu berbutir halus. Selain itu abu dapat dihasilkan selama fragmentasi sekunder fragmen batu apung, karena konservasi panas dalam aliran.

Karakteristik fisik dan kimia dari abu vulkanik dipengaruhi oleh tipe letusan gunung berapi. Gunung berapi menampilkan berbagai tipe letusan yang dipengaruhi oleh sifat kimia magma, isi kristal, suhu dan gas-gas terlarut dari erupsi magma dan dapat diklasifikasikan dengan menggunakan Volcanic Explosivity Index (VEI). Parameter lain yang mengendalikan jumlah abu yang dihasilkan adalah durasi letusan. Semakin lama letusan semakin banyak abu akan diproduksi.

2.1.3.1 Sifat Fisik Abu Vulkanik

Abu vulkanik dari letusan gunung yang terbawa oleh angin dan tersebar sebenarnya tidak berbahaya khususnya bagi tanah dan tumbuhan. Abu vulkanik itu nyatanya juga memiliki dampak positif dan manfaat pada sisi lain. Bukan hanya bermanfaat sebagai pupuk tanaman, tapi ia juga bisa memperbaiki sifat fisika tanah dan mempunyai kemampuan mengikat air.

Manfaat atau dampak positif dari abu vulkanik itu diketahui setelah dilakukan penelitian terhadap abu vulkanik dari letusan gunung Merapi pada tahun 2010 yaitu "Perbedaannya hanya satu, abu gunung Kelud itu lebih halus ukurannya dibanding abu Merapi. Abu gunung Kelud itu ukuran halusya seperti lempung atau *clay* dengan diameter di bawah 0,002 milimeter," (Gunawan, 2014).

Abu gunung Kelud itu menjadi lebih halus karena ia menempuh jarak yang lebih jauh, yaitu sekitar 200 kilometer lebih maka kandungan pasirnya tidak ikut terbawa oleh angin. Sehingga dari hal itu, abu gunung Kelud sudah memiliki kelebihan dibanding abu gunung Merapi dalam pemanfaatannya. Abu yang lebih halus itu lebih mudah untuk mengikat air (Gunawan, 2014).

Pengaruh positif dari abu letusan gunung itu bisa dilihat dari tiga sisi, yakni dari sisi kimia, fisika, dan teknik sipil. Dari segi kimiawi dapat diketahui bahwa abu vulkanik mengandung cadangan mineral yang cukup banyak. Juga mengandung magnesium dan serum yang bisa menjadi sumber nutrisi bagi pertanian. Namun sebelumnya, abu itu sudah mengalami lapukan, yaitu proses pelepasan unsur-unsur yang terkandung dalam abu letusan gunung, sehingga terlepas dari unsur primernya. Maka unsur yang baru itu bisa digunakan untuk pertanian (Gunawan, 2014).

Dari segi fisika, abu vulkanik memiliki kelebihan bisa memperbaiki sifat tanah dan mengikat air, atau bisa meningkatkan daya adhesi tanah. Sehingga, jika digunakan pada tanah berpasir akan mudah menyerap air. Berdasarkan hasil uji SEM yang dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Jakarta, terdapat rongga dalam abu vulkanik yang berukuran $\pm 50 \mu\text{m}$, ukuran rongga tersebut bisa dimanfaatkan sebagai media untuk bakteri yang akan dimasukkan ke dalam campuran beton.

2.1.3.2. Kandungan Kimia Abu Vulkanik

Kelebihan dari abu Kelud ini yaitu abu vulkanik dari Kelud lebih lembab, karena dia bersifat *higroskopis* atau mudah menyerap kelembaban lingkungan (Budiyanto, 2008). Selain itu, kandungan mineralnya juga banyak besinya, dan

kadar air yang dikandungnya dalam kondisi kering bisa mencapai 8 hingga 10 persen. Artinya, abu Kelud bisa dimanfaatkan untuk menyuburkan tanah dan pertanian. Abu Kelud ini juga memiliki kandungan Fe (besi), Mn (mangan), Si (silikat), Al (aluminium), Ca (kalsium), K (kalium), dan P (fosfor).

Sementara kandungan kimia pada campuran semen memiliki fungsi terhadap proses hidrasi dan pengikatan antar agregat seperti senyawa CaO (Kapur) sebagai penghasil energi panas dalam pembentukan hidrat dan kalsium hidroksida, SiO₂ (Silika) merupakan salah satu senyawa yang sangat berpengaruh pada proses hidrasi beton, sehingga dapat mempengaruhi kuat tekan maupun permeabilitasnya. Aluminat yaitu sebagai penghambat panas listrik yang baik berperah penting dalam ketahanan logam. Fe₂O₃ (Ferrit) sangat sensitif terhadap air jika terlarut dengan air akan mengalami reaksi hidrolisis yang menghasilkan panas.

Campuran adonan semen dengan abu vulkanik ini bisa mengurangi bahan dari semennya sendiri sampai 10 persen. Dan hasil campurannya juga cukup bagus, hingga bisa memiliki kekuatan 150 kg persatuan beban. (Gunawan, 2014)

Setelah melakukan proses uji kimia melalui mesin uji kimia di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, abu vulkanik Gunung Kelud memiliki kandungan sebagai berikut:

Tabel 2.4 Kandungan Kimia Abu Vulkanik Gunung Kelud

Oksida	Kandungan (%)
Kapur (CaO)	62,3
Silika (SiO ₂)	25,4
Alumina (Al ₂ O ₃)	7,6
Besi (Fe ₂ O ₃)	4,2
Kalium Oksida (K ₂ O)	0,19
Natrium Oksida (Na ₂ O)	0,1
Titanium Oksida (TiO ₂)	0,21

(Sumber: Uji Pendahuluan)

2.1.4 BioConcrete

Permasalahan beton pada umumnya adalah timbulnya retakan pada permukaan beton walaupun pencampuran mix design sudah dihitung sedemikian rupa. Saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut diantaranya adalah *BioConcrete* (Bio Beton).

Biobeton dicampur seperti beton biasa, tetapi dengan bahan tambahan “agen penyembuh”. Bahan ini tetap utuh selama pencampuran, hanya larut dan aktif pada saat beton retak dan air masuk ke dalam retakan tersebut. Masalah berikutnya adalah bagaimana bakteri bisa menghasilkan bahan yang dapat menutup retakan beton, bahan itu adalah batu kapur. Memasukkan bakteri dan kalsium laktat ke dalam kapsul yang terbuat dari plastic *biodegradable* (dapat diurai) dan menambahkan kapsul tersebut ke dalam campuran beton yang masih basah. Ketika ada keretakan pada beton, maka air akan masuk dan membuka kapsul. Bakteri kemudian akan berkecambah, berkembang biak dan makan dari kalsium laktat yang kemudian akan menutup retakan pada beton (Henk Jonkers 2006).

2.1.4.1 Bakteri *Bacillus altitudinis*

Bio Beton ini menggunakan bakteri hidup untuk menutup permukaan beton yang retak. Bakteri ini dicampurkan ke dalam beton dengan media, dan dapat bekerja atau aktif pada saat beton retak dan air masuk ke celah retakan tersebut. Keadaan fisik beton yang seperti batu dan kering, membuat bakteri tidak bekerja dalam waktu yang lama. Dalam arti lain, bakteri harus menunggu dengan keadaan tidur selama bertahun-tahun didalam beton yang kering dan tidak mendapat asupan makanan selama beton belum retak secara alami dan dimasuki air.

Dalam hal ini, dipilih bakteri *Bacillus altitudinis* dari gunung kelud. Bakteri ini dipilih karena mereka dapat berkembang dalam kondisi basa pada beton dan menghasilkan spora yang dapat bertahan selama beberapa dekade meski tanpa makanan dan oksigen (Henk Jonkers 2006). Hasil pengamatan morfologi dan uji biokimia, menunjukkan isolat T4, merupakan kelompok bakteri *Bacillus* sp. dengan sifat Gram positif, berbentuk sel *Bacillus* (batang tunggal). Isolat ini dapat tumbuh pada pH 7-9, dengan suhu optimum 47°C. Hasil pengujian menunjukkan bakteri ini dapat menginduksi endapan kalsium karbonat sebesar 2 g/30 mL. (*International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* (2012), 62, 1121–1127)

2.1.5 Sifat Mekanis Beton

Sifat-sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai sifat jangka pendek atau sesaat dan sifat jangka panjang. Sifat jangka pendek adalah kekuatan tekan, tarik, dan geser, dan kekakuan yang diukur dengan modulus elastisitasnya. Sifat jangka panjang dapat diklasifikasikan dalam rangkai dan susut (Nawi, 1998).

Kuat tekan merupakan parameter mekanis beton yang dapat memberikan gambaran secara umum mengenai kualitas beton itu sendiri, karena kekuatan berkaitan langsung dengan kondisi struktur dalam pasta semen. Selain kuat tekan beton besarnya nilai modulus elastisitas beton merupakan salah satu karakteristik mekanik beton yang juga penting. Karakteristik ini untuk mengetahui hubungan antara regangan dan tegangan pada suatu campuran beton (Wang dan Salmon, 1994). Semakin tinggi mutu beton biasanya semakin rendah regangan yang terjadi sehingga hal ini menyebabkan perilaku keruntuhan lebih getas dibandingkan dengan beton normal (Wibowo, 2013). Oleh karena itu akan dibahas lebih lengkap mengenai kuat tekan beton dan modulus elastisitas.

2.1.5.1 Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-2847-2002 kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton bergantung pada :

- a. Sifat dan jenis agregat yang digunakan berpengaruh terhadap kuat tekan beton dimana semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan dihasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Kekerasan agregat diperlukan oleh karena pada waktu pembuatan beton bahan-bahan ini harus mengalami gerakan-gerakan yang keras dalam mixer, demikian juga harus menerima gesekan pada saat pengecoran dan pemadatan. Agregat harus dapat menahan pengausan, pemecahan degradasi (penurunan mutu) serta disintegrasi (penguraian). Selain itu susunan besar butiran agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga

antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

- b. Waktu atau umur beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton dianggap mencapai 100% setelah berumur 28 hari.
- c. Kelecekan (*workability*) untuk mengukur tingkat kelecekan adukan dilakukan dengan menggunakan percobaan slump, yaitu dengan menggunakan cetakan kerucut terpancung dengan tinggi 300 mm diisi dengan beton segar. Pengukuran dilakukan terhadap merosotnya adukan dari puncak beton basah sebelum cetakan dibuka (nilai slump). Semakin kecil nilai slump, maka beton lebih kaku dan *workability* beton rendah. Slump yang baik untuk pengerjaan beton adalah 70 mm-80 mm. slump > 100 mm adukan dianggap terlalu encer.
- d. Kualitas perawatan untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini akan menyebabkan kekuatan beton turun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh.
- e. Faktor air semen adalah jumlah air yang dipakai dalam adukan berbanding dengan jumlah semen (kg) yang dipakai (Theodosius dan Saleh, 2002). Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai f.a.s semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian nilai f.a.s yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai f.a.s yang rendah akan

menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai f.a.s minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004).

Mengacu pada SNI 1974:2011, untuk menghitung kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan, yaitu :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$: Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dinyatakan dalam MPa atau N/mm².

P : Gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N).

A : Luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm².

2.2 Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dijadikan referensi pada penelitian ini diantaranya :

1. Penelitian yang dilakukan Ananto Nugroho (2015) dengan judul **”Bakteri sebagai agent *Self Healing* di celah mortar”** Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kemungkinan penerapan *Bacillus Sp* yang diintegrasikan ke dalam matriks mortar sebagai agen penyembuhan untuk menutup celah-celah keretakan. Spora bakteri pada konsentrasi 10⁴, 10⁵, dan 10⁶ sel / ml secara langsung ditambahkan ke dalam fly ash sebagai media untuk melindungi bakteri dalam kondisi basa tinggi. Dari hasil

pengujian menunjukkan bahwa mortar bakteri memiliki kemampuan kecil untuk pembebanan lentur dan efektifitas penyembuhan hanya pada batas lebar retak 0.22 mm

2. Penelitian yang dilakukan H. M. Jonkers dengan judul ***Bacteria based Self-healing Concrete*** (*Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Materials and Environment – Microlab, Delft, the Netherlands*) Bacillus genus yang ditambahkan ke dalam campuran beton sebagai agen penyembuhan. Spora ini berkecambah setelah air masuk kedalam celah retakan dan memproduksi kalsium karbonat sebagai mineral melalui konversi senyawa organik yang sengaja ditambahkan ke dalam campuran beton. Namun, dalam penelitian itu ditemukan bahwa penyembuhan retak bakteri hanya berlangsung selama 7 hari umur beton saja, karena kelangsungan hidup dan aktivitas terkait spora bakteri secara langsung (tanpa media)
3. Penelitian yang dilakukan oleh Meilani Adriyati, 2014 dengan judul ***Komposisi bakteri Bacillus Substilis dengan metode enkapsulasi hidrogel untuk aplikasi self-healing concrete***. Bakteri yang dienkapsulasi dengan hidrogel. Metode yang digunakan yaitu enkapsulasi hidrogel dengan cara pencampuran bakteri CMC (Carboxy Methyl Cellulose) lalu dilapisi oleh Resin Akrilik sc 1 dengan berbentuk bola-bola kecil, dimasukkan kedalam campuran beton sebagai bahan Zat adiktif. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat lentur. Pada pengujian kuat lentur beton mendapatkan nilai maksimal terjadi pada presentase material beton yang tidak menggunakan campuran hidrogel, sedangkan bila menggunakan

campuran hidrogel bakteri, nilai kuat lentur hasil uji semakin kecil dan pada pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) hidrogel bakteri menutup dengan durasi 3 hari hanya saja tidak signifikan, membutuhkan durasi yang lebih dari itu untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

2.3 Kerangka Berfikir

Secara umum beton adalah material utama yang digunakan dalam pembuatan bangunan. Beton banyak digunakan karena keunggulan-keunggulannya. Antara lain beton dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperatur tinggi, dan biaya pemeliharaan kecil dan mudah dalam perawatan.

Masalah yang sering terjadi dan merupakan kelemahan dari beton adalah keretakan pada permukaan beton. Untuk menangani masalah ini harus dilakukan pengecekan secara berkala dan harus menambal bagian beton yang retak. Sesuai dengan perkembangan teknologi, telah dilakukan berbagai cara yang revolusioner untuk menangani masalah tersebut dengan memanfaatkan bakteri sebagai agen penyembuh atau bisa disebut *BioConcrete*. Dimana beton dapat memperbaiki dirinya sendiri dengan bantuan bakteri. Metode yang digunakan pun bermacam-macam. Penambahan media sebagai tempat untuk hidup bakteri menjadi salah satu metode penelitian yang sering digunakan.

Dalam penelitian ini digunakan media abu vulkanik gunung kelud sebagai bahan tambah atau media untuk tempat hidup bakteri. Berdasarkan hasil uji SEM yang dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Jakarta, terdapat rongga dalam abu vulkanik yang berukuran $\pm 50 \mu\text{m}$, ukuran rongga tersebut bisa

dimanfaatkan sebagai media untuk bakteri yang akan dimasukkan ke dalam campuran beton.

Sebagai bahan utama pembuatan Bio Beton ini dipilih bakteri *Bacillus altitudinis* dari gunung kelud. Bakteri ini dipilih karena mereka dapat berkembang dalam kondisi basa pada beton dan menghasilkan spora yang dapat bertahan selama beberapa dekade meski tanpa makanan dan oksigen. Untuk membuat bakteri ini selalu dalam keadaan siaga, maka perlu ditambahkan media sebagai tempat untuk bakteri yaitu abu vulkanik. Setelah melakukan foto SEM (*Scan Electronic Microscope*) di Laboratorium Universitas Negeri Jakarta, abu vulkanik ini memiliki rongga porus yang ukurannya sesuai dengan ukuran bakteri *Bacillus*.

Sesuai dengan hal yang telah dikemukakan diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penambahan bakteri dengan media abu vulkanik, yang digunakan sebagai bahan tambah untuk mencapai kuat tekan dan kuat asam pada beton

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka teoritis dan kerangka berpikir di atas dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

Diduga penambahan bakteri yang telah terimobilisasi abu vulkanik dengan presentase 0%, 1%, 1.5%, dan 2% dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik beton berdasarkan standar mutu ASTM C-39.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan bakteri terhadap karakteristik beton dengan memanfaatkan abu vulkanik sebagai media pencampuran immobilisasi bakteri dengan beton tersebut.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada tempat :

- a. Pembuatan benda uji di Laboratorium Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor
- b. Pengujian Kuat Tekan di Laboratorium Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor
- c. Pengujian SEM abu vulkanik di Laboratorium Penelitian Fire, Material & Safety Engineering Universitas Negeri Jakarta, Rawamangun.
- d. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 sampai Januari 2017.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang pelaksanaannya dilakukan di laboratorium, kemudian sampel akan diuji sesuai ASTM C-39 untuk kuat tekan, dan ASTM C-267 untuk ketahanan asam.

3.3 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel pada penelitian meliputi populasi dan sampel

3.3.1 Populasi

Populasi pada penelitian ini adalah beton yang dibuat dengan penambahan bakteri yang di *impract* dalam abu vulkanik dengan variasi sebesar 0% ; 1% ; 1,5% ; 2% terhadap berat semen.

3.3.2 Sampel

Penambahan setiap kadar abu vulkanik sebesar 0% ; 1% ; 1,5% ; 2% dari berat semen adalah 10 sampel sehingga jumlah keseluruhan sampel sebanyak 40 buah beton. Rincian jumlah sampel dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 3.1 Daftar jumlah kebutuhan sampel

Kadar Abu Gunung Kelud	Pengujian Perlakuan Asam 28 Hari	Pengujian Kuat Tekan 28 Hari	Pengujian Absorpsi 28 Hari	Jumlah
0%	4 Buah	5 Buah	1 Buah	10 Buah
1%	4 Buah	5 Buah	1 Buah	10 Buah
1,5%	4 Buah	5 Buah	1 Buah	10 Buah
2%	4 Buah	5 Buah	1 Buah	10 Buah
Jumlah Total Kebutuhan Sampel				40 Buah

Kebutuhan bahan untuk pembuatan benda uji yaitu; semen, abu vulkanik, bakteri, pasir, kerikil, dan air. Masing-masing komposisi benda uji memerlukan kebutuhan bahan yang berbeda-beda.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian meliputi persiapan bahan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan pengujian benda uji.

3.4.1 Persiapan Bahan dan Peralatan

Sebelum pembuatan benda uji dilakukan, perlu disiapkan terlebih dahulu bahan dan alat.

3.4.1.1 Bahan

a. Semen Portland

Semen Portland tipe I yang digunakan dalam penelitian sudah memenuhi standar SNI sehingga tidak perlu dilakukan pengujian.

b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari toko material terdekat dari laboratorium. Adapun pemeriksaan terhadap pasir meliputi:

1) Pengujian Zat Organik

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui kandungan zat organik pada pasir dengan petunjuk larutan standar atau standar warna yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir.

2) Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus.

3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

4) Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Nilai kadar air ini digunakan untuk perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

c. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari toko material dekat dengan Laboratorium. Adapun pemeriksaan terhadap agregat kasar antara lain:

1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan dari pengujian ini untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar.

2) Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Nilai kadar air ini digunakan untuk perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

d. Abu Vulkanik Gunung Kelud

Bahan baku yang digunakan berupa abu vulkanik Gunung Kelud yang berasal dari daerah Yogyakarta. Dilakukan analisis saringan dengan cara disaring dengan saringan ukuran 200 mm kemudian diambil bagian yang lolos dan bagian itulah yang akan digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Dilanjutkan dengan pengujian berat jenis yang dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Jakarta. Nilai berat jenis dihitung berdasarkan SNI 03-2531-1991 dengan rumus :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{berat abu}}{V_1 - V_2} \times d$$

Keterangan :

V : Pembacaan pertama pada skala botol

- V2 : Pembacaan kedua pada skala botol
- (V1-V2) : isi cairan yang dipindahkan oleh abu vulkanik dengan suhu berat tertentu.
- d : Berat isi air pada suhu 25⁰C (1 gr/cm³)

e. Air

Air pada penelitian ini berasal dari PDAM sehingga tidak dilakukan pemeriksaan karena telah memenuhi persyaratan guna pembuatan beton menurut SNI 06-2413-1991 tentang metode pengujian kualitas fisik air.

3.4.1.2 Peralatan

Peralatan yang diperlukan harus dalam keadaan bersih pada saat sebelum digunakan, kemudian diatur dengan rapi sesuai dengan rencana posisinya.

Peralatan yang dibutuhkan antara lain :

a. Ember

Alat ini digunakan sebagai wadah untuk campuran beton.

b. Timbangan

Alat ini digunakan untuk menimbang kebutuhan bahan.

c. Kerucut Abram

Alat ini digunakan guna menguji slump sebelum pembuatan beton, ukuran tebal minimal 1,2 mm berupa kerucut terpancung.

d. Tongkat pematat

Alat ini digunakan guna meratakan/memadatkan campuran didalam kerucut cetakan beton.

e. Mistar

Alat ini digunakan untuk mengukur seberapa tinggi campuran beton, untuk penelitian ini slump dianjurkan $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$.

f. Mesin Molen

Alat ini digunakan untuk mengaduk semen dalam jumlah banyak, maksimal untuk 5 sampel beton ukuran silinder $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$.

g. Sendok Semen

Alat ini digunakan untuk mengambil kebutuhan bahan.

h. Cetakan silinder beton

Alat ini digunakan untuk mencetak beton segar yang akan digunakan dalam penelitian ini. Cetakan menggunakan silinder beton ukuran $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$.

i. Wadah atau bejana

Alat ini digunakan untuk wadah saat menimbang kebutuhan bahan.

j. Oven

Alat ini digunakan untuk mengeringkan pasir.

k. Saringan nomor 4

Alat ini digunakan untuk menyaring agregat halus

l. Labu Elenmeyer

Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar lumpur agregat halus

m. Tabung Reaksi

Alat ini digunakan untuk pembiakan bakteri.

n. Freeze dry

Alat ini digunakan sebagai vakum untuk impregnasi bakteri kedalam abu vulkanik

3.4.1.3. Tahap Perencanaan Proporsi Campuran

Perencanaan proporsi campuran untuk beton berdasarkan buku yang ditulis oleh Raju yang berjudul “*Design of Concrete Mixes*”. Mengacu pada standar ACI 613-54 menggunakan metode Absolute adalah sebagai berikut:

1. FAS : $\frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}}$
2. Berat satuan : $\frac{\text{berat bahan}}{\text{volume wadah}}$
3. Berat jenis : $\frac{\text{berat bahan}}{\text{volume bahan}}$
4. Volume Lepas : perbandingan volume x berat satuan
5. Volume absolut : $\frac{\text{berat bahan}}{\text{berat jenis bahan} \times \text{berat satuan air}}$
6. Berat bahan : volume absolute x berat jenis x berat satuan air
7. Kebutuhan bahan untuk tiap 1m³ beton : $\frac{\text{volume absolute}}{\text{jumlah total volume absolute}}$

3.4.2 Pemiakan Bakteri

Penelitian ini menggunakan bakteri *Bacillus altitudinis*. Diperoleh dari Pusat Penelitian Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor. Sebagai bahan utama untuk penelitian, bakteri ini disimpan dalam nutrient agar dan disimpan dalam lemari pendingin pada suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ sampai siap digunakan untuk penelitian. Untuk pembiakan bakteri menggunakan media cair dengan komposisi 5 g/L pepton, 5 g / l NaCl dan Yeast extract 3 g / l (Ananto Nugroho, 2015)

3.4.3 Impregnasi Bakteri *Bacillus altitudinis* ke dalam Abu Vulkanik

Pada tahap ini dilakukan pencampuran bakteri yang telah berbentuk media cair ke dalam abu vulkanik. Media cair sebanyak 1000 ml dibagi rata ke dalam

variasi abu vulkanik yaitu 1% ; 1.5% ; 2 %. Setelah tercampur ke dalam abu vulkanik kemudian di bekukan dalam freezer dengan suhu -4°C selama 24 jam.

Dalam keadaan beku, abu vulkanik yang telah tercampur bakteri kemudian dimasukan kedalam mesin freeze dry selama 24 jam.

3.4.4 Pembuatan Benda Uji

Pada tahap ini akan dijabarkan proses pembuatan benda uji, mulai dari tahap pencampuran, pengadukan, proses *uji slump* dan pencetakan benda uji.

3.4.4.1 Tahap Pencampuran

Setelah proses perencanaan proporsi campuran (*mix design*) selesai dihitung tahap selanjutnya adalah pembuatan adukan beton dengan benda uji berbentuk silinder. Untuk mempermudah pencampuran, biasanya sebagian air dicampurkan terlebih dahulu pada agregat dan membiarkannya diserap oleh agregat selama sekitar 10 menit. Setelah itu baru semen, campuran abu vulkanik dan bakteri dan sisa air dimasukan.

3.4.4.2. Tahap Pengadukan

Pengadukan beton berdasarkan SNI 03-3976-1995, Tata Cara Pengadukan Pengecoran Beton. Proses ini menggunakan mesin molen yang terdapat pada Laboratorium Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor

3.4.4.3. Tahap Uji Slump

Letakkan cetakan diatas pelat yang sudah bersih disarankan untuk bersih dari sisa beton kering. Isi cetakan dengan beton segar sampai penuh dalam tiga lapis untuk tiap 1/3 isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Tongkat pemadat harus masuk tepat sampai lapisan bagian bawah tiap tiap lapisan. Pada bagian bawah atau lapisan

pertama, penusukan bagian tepi dilakukan dengan tongkat dimiringkan sesuai dengan kemiringan dinding cetakan. Setelah selesai pemadatan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat, tunggu selama $\frac{1}{2}$ menit dan dalam jangka waktu ini, semua lapisan kelebihan beton segar disekitar cetakan harus dibersihkan. Cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas. Balikkan cetakan dan letakkan disamping benda uji. Ukur *slump* yang terjadi dengan menggunakan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata dari benda uji ukur menggunakan mistar.

3.4.4.4. Tahap Pencetakan

Setelah proses pencampuran, pengadukan, pengujian *slump*, kemudian dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan ASTM C-192. Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan berupa silinder (diameter 10 cm, tinggi 20 cm). Tahap pembuatannya adalah mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Setelah dipadatkan diketuk sisi cetakan perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup, kemudian diratakan permukaannya dan ditutup bagian atas silinder menggunakan bahan yang kedap air dan didiamkan selama 24 jam ditempat yang bebas getaran.

3.4.5. Perawatan Benda Uji

Setelah benda uji di buka dari cetakannya, kemudian dilakukan perawatan terhadap benda uji berdasarkan SNI 03-3976-1995. Dalam penelitian ini, perawatan benda uji menggunakan metode perendaman, yaitu perawatan dengan menyimpan benda uji pada bak yang telah diisi air selama 28 hari.

3.4.6. Tahap pengujian benda uji

Pada tahap ini akan dijelaskan tahap pengujian dari pengujian sifat fisik (Absorpsi) , pengujian sifat mekanik (kuat tekan) , dan pengujian sifat kimia (ketahanan asam)

3.4.6.3. Pengujian sifat fisik beton (Absorpsi)

Setelah perawatan 28 hari, dilakukan pengujian absorpsi beton. Pengujian absorpsi beton adalah keadaan beton terhadap lingkungan yang kedap air ditentukan oleh tingkat penyerapan air pada permukaan beton. Nilai absorpsi yang besar pada beton mempunyai kecenderungan beton tersebut kurang awet atau mempunyai durabilitas yang rendah karena beton dengan mudah menyerap air dan mengakibatkan degradasi kekuatan beton. Pengujian absorpsi berdasarkan SNI 03-6433-200.

3.4.6.4. Pengujian sifat mekanik

Pengujian kuat tekan terhadap benda uji dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari. Prosedur pengujian kuat tekan dilakukan sesuai dengan ASTM C-39 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.

3.4.6.5. Pengujian sifat kimia

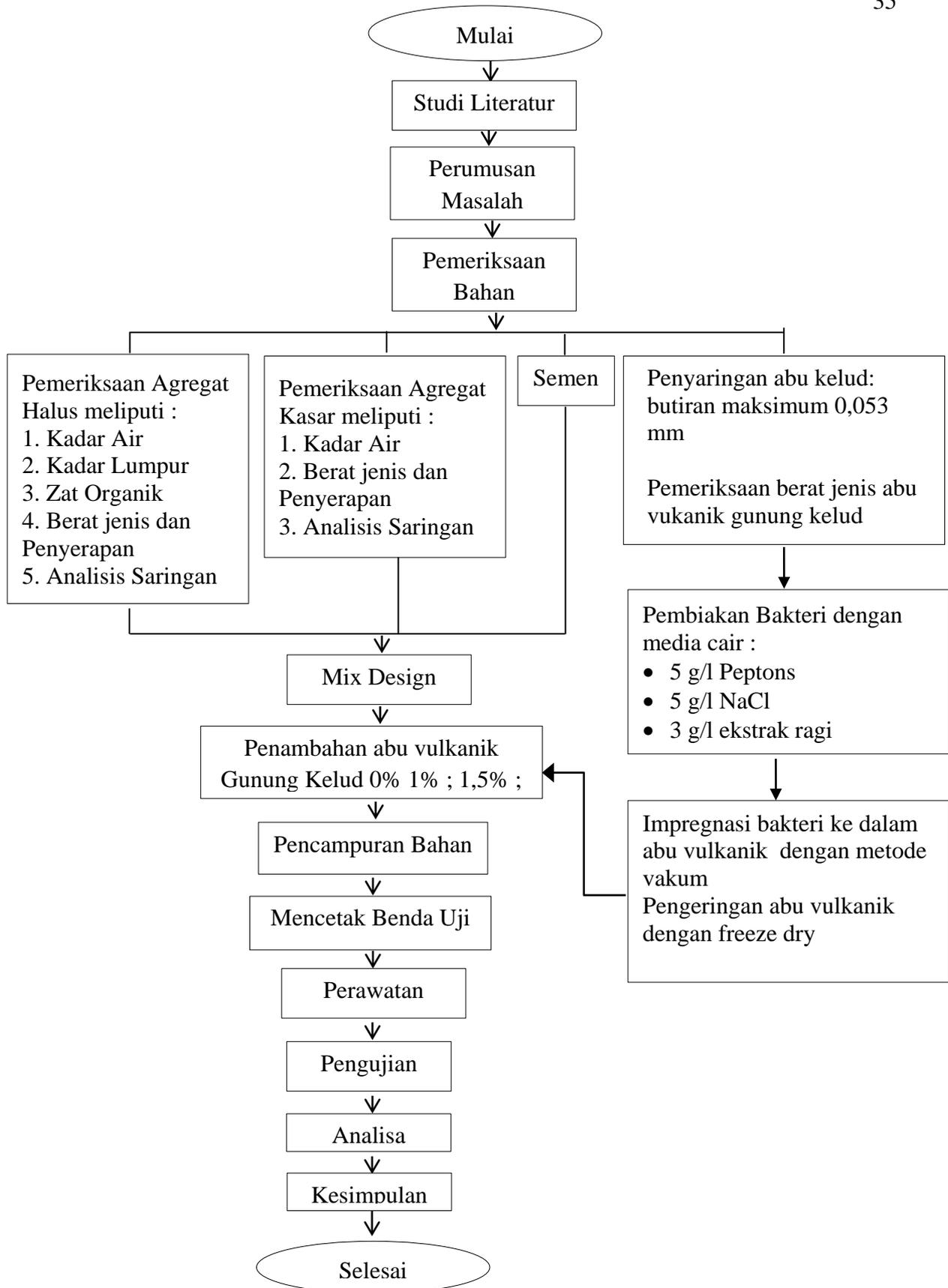
Pengujian ini dilakukan dengan larutan *phenolphthalein* yang akan memberi efek warna pada benda uji ketika disemprotkan pada benda uji. Pengujian penetrasi kedalaman asam bertujuan untuk mengetahui kedalaman serangan atau penetrasi asam terhadap beton. Pengujian ini berdasarkan ASTM C-803M

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini diambil dari hasil pengujian dengan melakukan pemeriksaan kuat tekan dan modulus elastisitas dengan menggunakan mesin uji. Instrumen penelitian yang digunakan adalah uji kuat tekan dan Modulus Elastisitas.

3.6 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dihasilkan merupakan data hasil uji absorpsi, uji kuat tekan dan uji ketahanan asam. Hasil pengolahan data akan dibuat dalam bentuk grafik, diagram dan tabel dengan bantuan program *Microsoft Excel* untuk melihat kecenderungan sifat beton terhadap penambahan bakteri dan selanjutnya disimpulkan secara deskriptif.



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Uji Pendahuluan

4.1.1. Pengujian Bahan Penyusun Beton

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir dan kerikil yang didapat di toko material di wilayah Kecamatan Cibinong, Kabupaten Bogor. dan abu vulkanik yang didapat dari daerah Yogyakarta sebagai hasil dari sebaran abu terbang oleh erupsi Gunung Kelud pada tahun 2014. Pengujian yang dilakukan terhadap pasir dan kerikil adalah pengujian berat jenis, hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1. Pengujian bahan dilakukan pada bahan dasar pembentuk beton berdasarkan SNI 03-1766-1990 tentang cara uji butiran ringan di dalam agregat beton.

Table 4.1 Hasil Pengujian Bahan

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR		
	Notasi	Hasil Uji (g)
Berat benda uji kering oven	Bk	1195.1
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	1211.2
Berat benda uji dalam air	Ba	140.69
Hasil perhitungan		
Berat jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.54
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.54
Berat jenis semu (Apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.63
Penyerapan (Absorption) x 100%	$\frac{Bj - Bk}{Bk}$	1.35

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

	Notasi	Hasil Uji (g)
Berat benda uji kering permukaan jenuh	250	250
Berat benda uji kering oven	Bk	227
Berat piknometer + air	B	344
Berat piknometer + benda uji + air	Bt	484
Hasil perhitungan		
Berat jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{B+250-Bt}$	2.06
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{250}{B+250-Bt}$	2.27
Berat jenis semu (Apparent)	$\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$	2.60
Penyerapan (Absorption) x 100 %	$\frac{250-Bk}{Bk}$	10.13

Berdasarkan tabel diatas mengenai hasil uji terhadap bahan penyusun beton dapat diketahui bahwa bahan tersebut lolos uji Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai bahan campuran penyusun beton. Data tersebut sesuai standar SNI tentang berat jenis agregat beton dengan rentang 2.5 sampai 2.7.

4.1.2. Kebutuhan Bahan Campuran Beton

Perhitungan proporsi campuran beton berdasarkan buku yang ditulis oleh Krishna Raju yang berjudul “*Design of Concrete Mixes*”. Dengan menggunakan pertimbangan *slump* 10 ± 2 cm, fas 0,65 dan dari hasil uji penyerapan air, kadar lumpur dan berat jenis agregat.

5.2. Hasil Pengujian *BioConcrete*

4.2.1. Nilai Slump

Sebelum dilakukan pencetakan beton segar pada cetakan silinder, maka terlebih dulu dilakukan pengujian *slump*. Data hasil pengujian slump terdapat pada Tabel berikut:

Table 4.2 Hasil Pengujian *Slump*

Komposisi Abu Vulkanik	Nilai Slump (mm)		
	1	2	Rata-Rata
0%	120	130	125
1%	120	130	125
1.5%	130	140	135
2%	110	100	105

4.2.2. Sifat Mekanis *BioConcrete*

4.2.2.1 Uji Kuat Tekan *BioConcrete*

Pengujian kuat tekan dilakukan ketika *BioConcrete* berumur 28 hari dengan perawatan berupa pembungkusan benda uji beton dengan karung basah. Pemberian beban pada benda uji diberikan secara sentris pada pusat penampang benda uji *BioConcrete* seperti pada gambar 4.1. Data kuat tekan diperoleh dengan membagi beban tekan yang terbaca pada *dial* mesin uji dengan luas penampang benda uji.



Gambar 4.1. Pengujian Kuat Tekan Beton.

Pada tabel 4.3 tersaji data kuat tekan *BioConcrete* dengan berbagai variasi abu vulkanik dari 0%, 1%, 1.5%, dan 2%. Data kuat tekan yang digunakan sebagai analisis adalah data kuat tekan rata-rata pada masing-masing variasi.

Tabel 4.3 Nilai Kuat Tekan Umur 28 hari

Kadar Abu Vulkanik	Kuat Tekan (MPa)					Rata- Rata
	1	2	3	4	5	
0%	12.73	11.46	15.28	15.28	14.01	13.75
1%	11.46	14.64	14.64	15.92	11.46	13.62
1.5%	15.28	19.1	19.1	19.1	12.1	16.93
2%	12.73	7,64	12.73	17.19	14.01	12.86

Dalam data tersebut terdapat 2 benda uji yang terlihat signifikan perbedaan perolehan kuat tekanya terhadap benda uji yang lain, jika benda uji tersebut dieliminasi maka menyebabkan perolehan kuat tekan dan standar deviasi yang berbeda. Hasil rata-rata kuat tekan beton dengan benda uji yang telah dieliminasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Nilai Kuat Tekan Umur 28 hari setelah data di eliminasi

Kadar Abu Vulkanik	Kuat Tekan (MPa)					Rata-Rata
	1	2	3	4	5	
0%	12.73	11.46	15.28	15.28	14.01	13.75
1%	11.46	14.64	14.64	15.92	11.46	13.62
1.5%	15.28	19.1	19.1	19.1	-	18.14
2%	12.73	-	12.73	17.19	14.01	14.16

4.2.3. Sifat Fisik *BioConcrete*

4.2.3.1 Uji Absorpsi *BioConcrete*

Setelah perawatan selama 28 hari dengan karung basah, benda uji dipotong secara horizontal setebal 2.5 cm. Benda uji yang telah dipotong kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{c}$ kemudian ditimbang (berat kering oven). Benda uji kemudian direndam dalam air selama 24 jam kemudian ditimbang (berat basah). Nilai absorpsi yang didapat merupakan selisih antara berat kering oven dan berat basah dibagi berat kering oven dikali 100% (SNI 03-6433-200). Pengujian absorpsi dilakukan seperti pada gambar 4.2 dan gambar 4.3



Gambar 4.2 Benda Uji Kering Oven

Gambar 4.3 Perendaman Benda Uji

Data pengujian yang dipakai adalah data rata-rata dari uji absorpsi beton.

Hasil rata-rata uji absorpsi dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.5 Nilai Uji Absorpsi

	VARIASI ABU VULKANIK			
	0%	1%	1.5%	2%
HASIL ABSORPSI (%)	8.72	7.92	6.93	7.95

4.2.3.2 Uji Densitas

Uji densitas dilakukan untuk menghitung kerapatan beton. Perhitungan uji densitas dirumuskan dengan $\rho = m / v$. Berat benda uji ditimbang terlebih dahulu kemudian dibagi dengan volume beton silinder. Data pengujian yang dipakai adalah data rata-rata dari uji densitas beton. Hasil rata-rata uji densitas dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 4.6 Nilai Uji Densitas

	VARIASI ABU VULKANIK			
	0%	1%	1.5%	2%
HASIL UJI DENSITAS (g/cm³)	2.56	2.63	2.63	2.61

4.2.4. Uji Sifat Kimia *BioConcrete*

4.2.4.1 Uji Kuat Tekan dengan Perlakuan Perendaman Asam

Setelah perawatan selama 28 hari dengan dibungkus karung basah, benda uji kemudian direndam dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 2% dari volume air untuk perendaman. Benda uji direndam selama 3, 7, dan 14 hari. Berikut ini gambar perendaman dalam asam sulfat.



Gambar 4.4 Perendaman Dengan Asam Sulfat

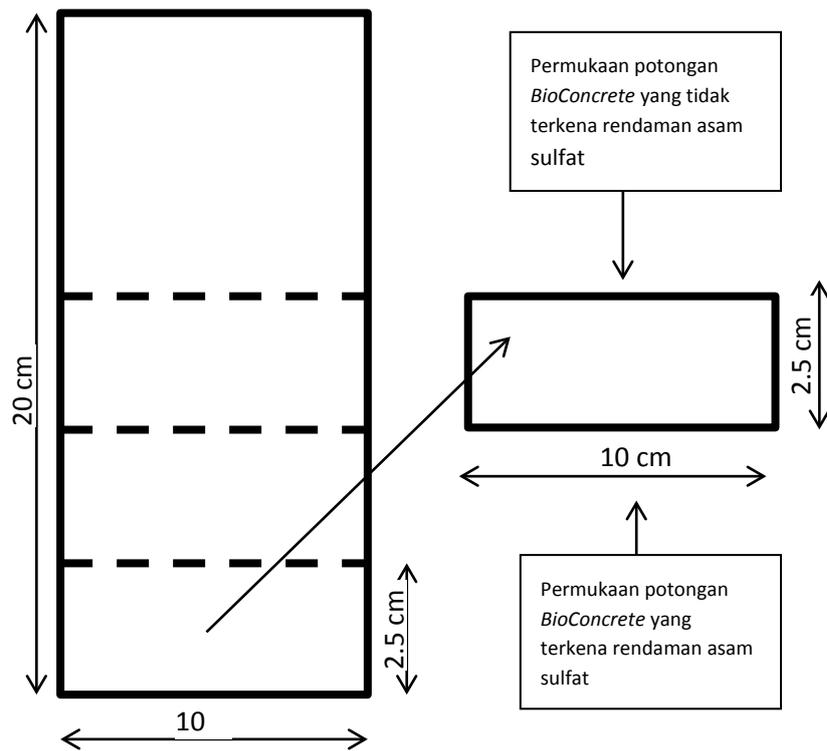
Setiap rentang waktu tersebut dilakukan uji kuat tekan. Berikut adalah data hasil uji kuat tekan setelah dilakukan perendaman pada asam sulfat.

Tabel 4.7 Nilai Uji Kuat Tekan Perendaman Asam Sulfat

HARI	VARIASI ABU VULKANIK			
	0%	1%	1.5%	2%
HARI KE 3	19.1	19.1	16.56	14
HARI KE 7	15.28	14.01	10.82	9.96
HARI KE 14	13.88	12.73	10.82	9.11

4.2.4.2 Uji Titrasi Ketahanan Serangan Asam

Untuk pengujian ini digunakan indikator *phenolphthalein* yang akan memberi efek warna pada benda uji ketika di teteskan ke benda uji. Untuk membuat larutan indikator tersebut, campur 1gr *phenolphthalein* dengan 50ml alkohol murni, kemudian larutkan kembali dengan air sebanyak 100ml. Kemudian teteskan dengan pipet ke permukaan benda uji yang telah dipotong setebal 2,5 cm. Dalam pengujian ini, permukaan yang terkena rendaman asam sulfat tidak berubah warna atau bersifat asam. Sedangkan permukaan yang tidak terserang rendaman asam sulfat berubah warna menjadi ungu atau bersifat basa. Berikut hasil pengujian titrasi yang bersifat basa pada gambar 4.6 dan yang bersifat asam pada gambar 4.7



Gambar 4.5 Potongan *BioConcrete* Untuk Uji Titrasi



Gambar 4.6 Permukaan Tengah *BioConcrete* Bersifat Basa



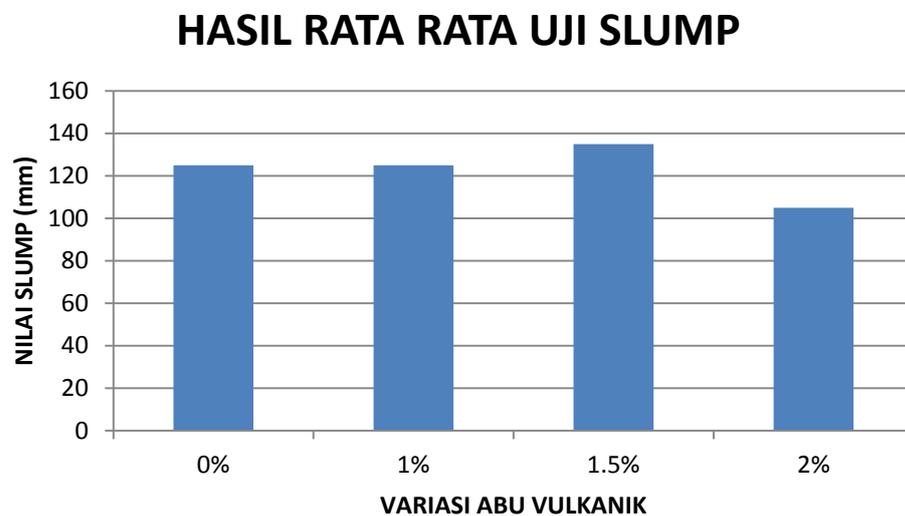
Gambar 4.7 Permukaan Bawah *BioConcrete* Bersifat Asam

5.3. Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan sampel yang telah diuji, hasil penelitian pada silinder beton terhadap pengujian slump, sifat mekanik, sifat fisik dan sifat kimia dapat dibahas sebagai berikut:

4.3.1. Uji Slump

Nilai *slump* yang ditentukan oleh besarnya penurunan adukan beton setelah diangkat dari alat uji slump (kerucut slump). Nilai penurunan slump akan dibandingkan dengan nilai slump rencana yaitu 100 ± 20 mm, jika nilai slump lebih besar maka adukan encer dan nilai workability akan semakin tinggi dan sebaliknya jika nilai slump kecil maka adukan kental dan nilai workabilitynya akan semakin rendah. Dari penelitian ini nilai slump tertinggi terdapat di variasi abu vulkanik sebanyak 1.5% sedangkan nilai slump terendah terdapat di variasi 2%. Ini menyatakan bahwa semakin banyak penambahan abu terhadap beton maka adukan semakin kental. Hal ini dikarenakan bentuk fisik dari abu sangat halus sehingga lebih cepat menyerap air (Budiyanto G, 2014). Berikut grafik hasil uji *slump*.

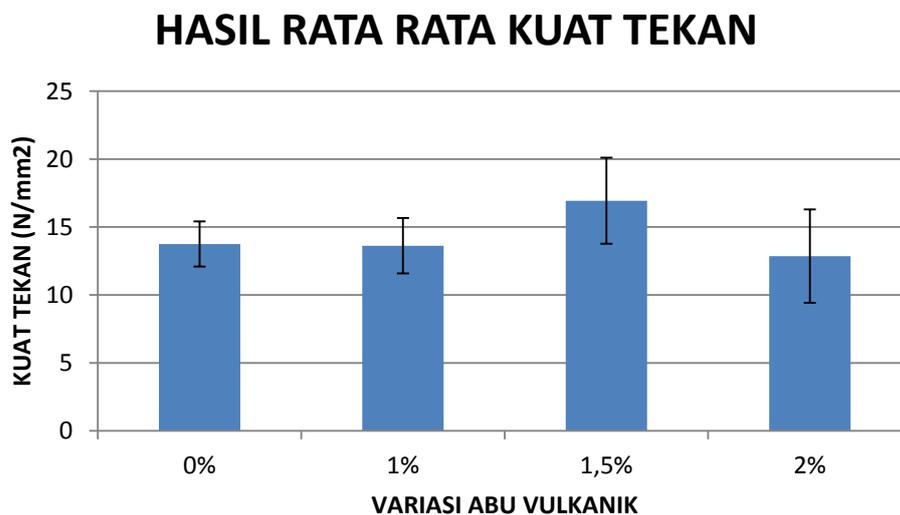


Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian *Slump*

4.3.2. Sifat Mekanikal *BioConcrete*

4.3.2.1 Uji Kuat Tekan *BioConcrete*

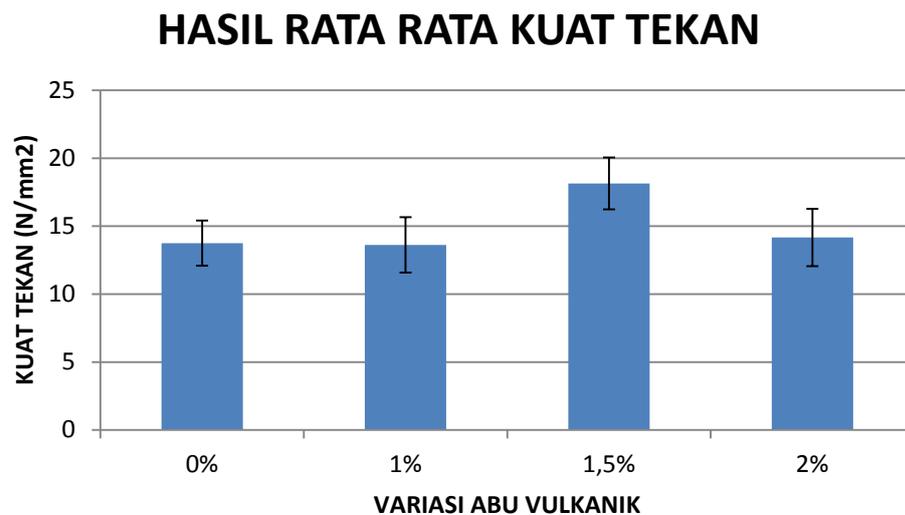
Nilai Rata-rata hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari dapat dilihat pada Grafik berikut:



Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Rata-Rata

Berdasarkan Gambar 4.9 nilai kuat tekan rata-rata maksimal yang dicapai oleh beton dengan variasi abu vulkanik 1.5% mengalami kenaikan sebesar 23.15% dengan nilai kuat tekan 16.93 MPa, sedangkan beton dengan variasi 2% mengalami penurunan sebesar 6.93% dengan nilai kuat tekan 12.86 MPa.

Pada data kuat tekan tersebut dilakukan eliminasi data pada beberapa benda uji dikarenakan nilai yang terlalu jauh berbeda dengan nilai benda uji lain. Eliminasi benda uji tersebut berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan di variasi 1.5% dengan persentase kenaikan 31.94 %, sedangkan di variasi 2 % mengalami penurunan sebesar 2 %. Nilai Rata-rata hasil uji kuat tekan yang telah dilakukan eliminasi data dapat dilihat pada Grafik berikut:



Gambar 4.10 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Rata-Rata (Data Eliminasi)

Hasil kuat tekan yang terjadi pada beton dengan keseluruhan penambahan abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 1%, 1.5%, 2% diduga dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya dari ketersediaan jenis agregat penyusun dan proporsi campuran abu vulkanik dengan bakteri yang mengisi rongga abu vulkanik. Pada dasarnya fungsi utama bakteri adalah mengisi rongga-rongga didalam abu vulkanik. Dari penjelasan tersebut bahwa jika presentase abu vulkanik terlalu banyak, maka semakin banyak pula rongga yang tidak terisi oleh bakteri. Rongga kosong yang terdapat pada abu vulkanik diduga menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton paling tinggi terdapat pada penambahan abu vulkanik sebanyak 1.5% karena ukuran penambahan tersebut sesuai dengan proporsi bakteri untuk memproduksi kalsit yang terdapat dalam abu vulkanik. Sehingga pada variasi 1.5% rongga abu vulkanik dapat terisi semua oleh kalsit dari bakteri yang menyebabkan nilai kuat tekan maksimal. Sedangkan bakteri dengan penambahan abu vulkanik 2% memiliki spora bakteri yang lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah rongga abu vulkanik. Sehingga banyak rongga

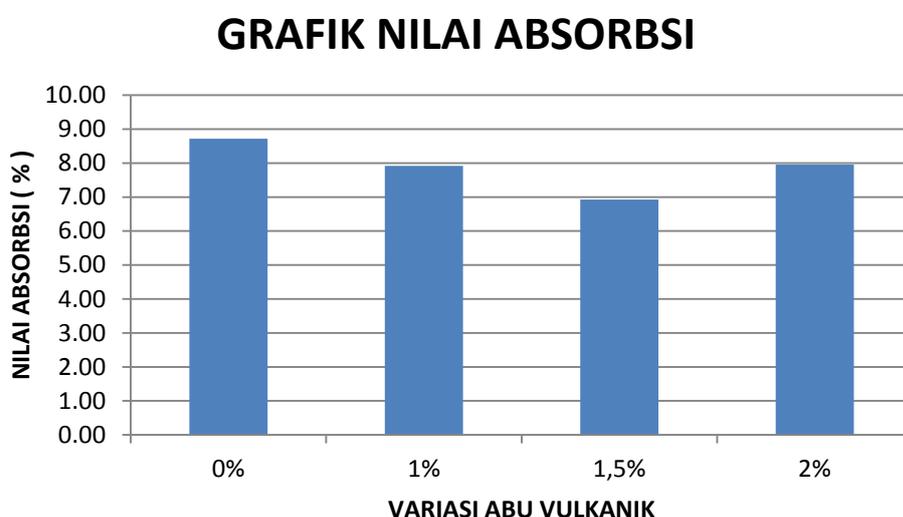
kosong yang tidak terisi oleh kalsit yang dihasilkan oleh bakteri, hal ini menyebabkan beton menjadi porus dan menurunkan nilai kuat tekan.

4.3.3 Sifat Fisik *BioConcrete*

4.3.3.1 Uji Absorpsi *BioConcrete*

Nilai Rata-rata hasil uji absorpsi pada umur 28 hari dapat dilihat pada

Grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik Hasil Uji Absorpsi Rata-Rata

Berdasarkan grafik 4.11 nilai absorpsi terkecil terdapat di variasi penambahan abu 1.5 % . Hal ini dikarenakan proporsi penambahan abu vulkanik dengan bakteri sesuai. Rongga pada abu vulkanik terisi secara menyeluruh oleh kalsit dari bakteri yang menyebabkan nilai penyerapan menjadi kecil. Kecilnya nilai absorpsi pada variasi 1.5 % sejalan dengan teori bahwa semakin kecil nilai absorpsi maka nilai kuat tekan akan semakin besar. Nilai kuat tekan terbesar terdapat pada variasi 1.5 % dengan nilai 16.93 N/mm^2 atau 18.14 N/mm^2 setelah dilakukan eliminasi data.

4.3.3.2 Uji Densitas *BioConcrete*



Gambar 4.12 Grafik Nilai Uji Densitas

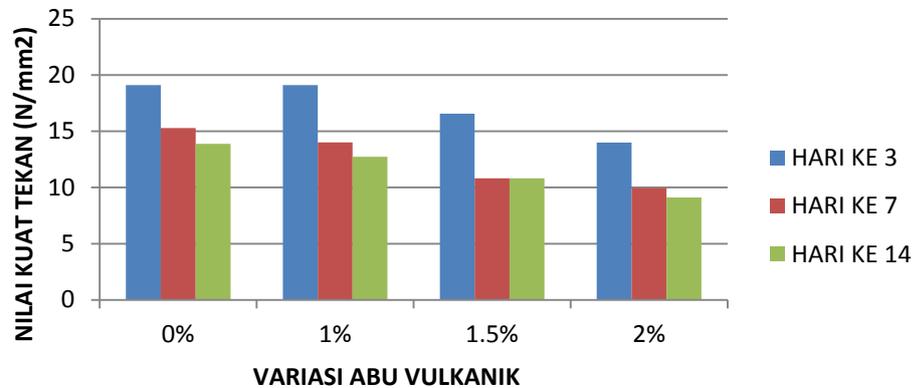
Berdasarkan gambar 4.12 nilai kerapatan terendah terdapat pada variasi abu vulkanik 0 %. Bisa disimpulkan bahwa penambahan bakteri dengan media abu vulkanik dapat meningkatkan kerapatan massa jenis beton. Pada variasi 2 % terjadi penurunan nilai densitas diduga karena pertumbuhan bakteri didalam abu vulkanik terhambat dan produksi kalsit tidak maksimal, sehingga rongga kosong yang tidak terisi kalsit dapat melemahkan nilai kerapatan pada beton.

4.3.4 Sifat Kimia *BioConcrete*

4.3.4.1 Uji Kuat Tekan Perendaman Asam

Nilai Rata-rata hasil uji kuat tekan pada perendaman asam sulfat 3, 7, dan 14 hari dapat dilihat pada Grafik berikut:

GRAFIK NILAI KUAT TEKAN RENDAMAN ASAM SULFAT



Gambar 4.13 Grafik Nilai Kuat Tekan Rendaman Asam Sulfat

Dari Grafik pada gambar 4.13 nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi abu vulkanik 0 %. Penurunan kuat tekan secara keseluruhan terjadi karena perilaku asam sulfat terhadap bakteri didalam abu vulkanik. Diduga, kalsit yang diproduksi oleh bakteri tidak bekerja dengan baik pada lingkungan asam sehingga menjadi salah satu faktor penurunan kuat tekan. Berbeda dengan *BioConcrete* yang tidak direndam dengan asam sulfat mengalami peningkatan kuat tekan pada variasi 1.5%.

4.3.5. Analisis Keseluruhan

Penambahan bakteri dengan media abu vulkanik sebanyak 1% 1.5% dan 2% pada beton berpengaruh terhadap absorpsi, kuat tekan dan perilaku lingkungan asam.

Dari analisa data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa beton dengan penambahan bakteri dan media abu vulkanik sebesar 1.5% memiliki nilai absorpsi rendah sebesar 6.93%, rendahnya nilai absorpsi pada variasi

tersebut berpengaruh terhadap tingginya nilai kuat tekan pada variasi 1.5% sebesar 16.93 MPa. Tingginya nilai kuat tekan pada variasi 1.5% sesuai dengan tingginya nilai kerapatan sebesar 2.63 g/cm^3 pada variasi 1.5% karena rongga dalam abu vulkanik secara menyeluruh terisi kalsit yang diproduksi oleh bakteri. Hal itu menyebabkan kecilnya nilai absorpsi karena sedikitnya celah untuk ruang penyerapan air, sehingga menyebabkan nilai kuat tekan tinggi karena bakteri dan abu vulkanik memiliki proporsi ukuran yang sesuai untuk mengisi ruang pada beton.

Untuk lingkungan asam, *BioConcrete* tidak dapat mencapai nilai kuat tekan maksimal karena semen tergerus oleh larutan asam, hal ini menyebabkan beton mudah rapuh dan nilai kuat tekan rendah.

4.4. Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini peneliti mengakui banyak keterbatasan penelitian yang di antaranya adalah:

1. Ketersediaan agregat kasar dan halus yang tidak memenuhi standar untuk bahan pembuat beton.
2. Cuaca dan kondisi yang sering berubah menyebabkan uji pendahuluan agregat halus tidak maksimal
3. Alat cetakan beton yang terbuat dari pipa PVC membuat hasil fisik beton kurang maksimal karena terdapat beberapa cacat yang disebabkan oleh cetakan yang tidak presisi.
4. Tidak tersedianya data jumlah bakteri pada masing-masing presentase abu vulkanik

5. Tidak dilakukanya pengujian SEM (*Scan Electronic Microscope*) setelah pengujian kuat tekan untuk mengetahui pengendapan kalsit sebagai pembuktian bahwa kuat tekan meningkat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa *BioConcrete* dengan penambahan media abu vulkanik memiliki nilai kuat tekan dan densitas paling tinggi pada variasi 1.5%, sedangkan nilai absorpsi terendah terdapat pada variasi 1.5%. Peningkatan kuat tekan pada variasi tersebut disebabkan proporsi penambahan abu vulkanik sebesar 1.5% membuat bakteri berkembang biak dengan baik dan menghasilkan kalsit yang maksimal untuk mengisi rongga pada abu vulkanik. Dan pada perilaku asam *BioConcrete* tidak mengalami peningkatan kuat tekan. Ini menyimpulkan bahwa *BioConcrete* tidak dapat bertahan terhadap lingkungan atau situasi yang mengandung asam. Dikarenakan kalsit yang terdapat dalam rongga abu vulkanik terkikis cairan asam sulfat sehingga banyak terdapat rongga kosong dalam abu vulkanik yang menyebabkan penurunan kuat tekan.

Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa bakteri dapat diimobilisasi kedalam media abu vulkanik dan dapat terintegrasikan ke dalam matriks beton dengan proporsi abu vulkanik sebesar 1.5% dari berat semen.

5.2. Saran

Untuk menghasilkan penelitian yang lebih sempurna, maka disarankan sebagai berikut:

1. Media untuk bakteri bisa diganti dengan material lain yang memiliki rongga sesuai dengan ukuran bakteri seperti metode enkapsulasi (kapsul).

2. Untuk penelitian berikutnya lakukan uji permeabilitas. Untuk melihat seberapa efektif penambahan abu vulkanik dan bakteri dalam menurunkan nilai permeabilitas pada beton.
3. Untuk penelitian berikutnya dapat dilakukan uji Modulus Elastisitas untuk mengetahui apakah *BioConcrete* memiliki kuat lentur atau tidak.
4. Untuk penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji SEM (*Scan Electronic Microscope*) setelah *BioConcrete* diuji, untuk melihat bentuk fisik bakteri didalam rongga abu vulkanik.
5. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan retak buatan untuk melihat apakah bakteri dapat menjadi *self healing* untuk menutup retakan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyati, M. (2014). Komposisi Bakteri Bacillus Dengan Metode Enkapsulasi Hidrogel Untuk Aplikasi Self-Healing Concrete.
- ASTM.C-128. (2003). *Standard Test Method for Density, Relative Density and Absorption of Fine Aggregates*.
- ASTM.C-150. (2013). *Standard Specification for Portland Cement*.
- ASTM.C-192. (2016). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in The Laboratory*.
- ASTM.C-267-01. (2012). *Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes*.
- ASTM.C-33. (2013). *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM.C-39. (2014). *Standard Test Methode for Compressive Strenght*.
- ASTM.C-803M. (1999). *Standard Test Methode for Penetration Resistance of Hardener Concrete*.
- Budianto, W. G. (2008). Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud Untuk Mengembangkan Badan Keramik Stoneware Tanah Liat Sukabumi .
- Chu-Kia, W., & Salmon . (1994). *Design Beton Bertulang* . Jakarta: Erlangga.
- Daryanto. (1994). *Pengetahuan Teknik Bangunan* . Jakarta: Rienika Citra .
- Faisal, Y. (2004). *Macam Macam Penyakit Menular Dan Pencegahanya*. Jakarta: Pustaka Populer Obor.
- Gunawan. (2014). Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Sebagai Filler Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis (AC-WC).
- H, J. (2006). Bacteria based Self-Healing Concrete.
- McCormac, J. (2003). *Design of Reinforced Concrete*. Michigan.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET.
- Nawi , E. (1998). *Beton Bertulang* . Bandung : PT. Rfika Aditama.

- Nugroho, A. (2015). *Bacteria as Self-Healing Agent in Mortar Cracks. Mortar.*
- Rahmayanti. (2008). *Determinating significant factors influencing cement compressive strength at Padang Cement company.*
- Raju, K. (1983). *Design of Concrete Mixes.* India.
- SNI, 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.* Bandung.
- SNI.03-3449-2002. (2002). *Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan.*
- SNI.03-3976-1995. (n.d.). *Tata Cara Pengadukan dan Pengcoran Beton .*
- Theodosius, G., & Margaret , S. (2002). *Konstruksi Beton 1.* Jakarta: Delta Teknik Group.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton .* Yogyakarta.

LAMPIRAN 1 DATA BAHAN & PERHITUNGAN MIX DESIGN

BAHAN	BERAT SATUAN	SATUAN	BERAT JENIS
Semen	1250.00	kg/m ³	3.15
Pasir	1317.88	kg/m ³	2.60
Kerikil	1320.95	kg/m ³	2.54
Air	1000.00	kg/m ³	1.00
Vulcanic ash (0.05 mm)	1090.80	kg/m ³	2.26

$$FAS = \frac{W_{air}}{W_{semen}}$$

$$V_{lepas} = \frac{W}{Berat\ Satuan}$$

$$V_{absolute} = \frac{W}{B_j \times B_s\ Air}$$

$$\frac{V_{absolute}}{Berat\ Satuan} = \frac{V_{lepas}}{B_j \times B_s\ Air}$$

LAMPIRAN 2 MIX DESIGN VARIASI 0 %

MIX DESIGN --> 1 PC : 2 PS : 3 KR ---> FAS di desain = 0.65

Bahan	Perbandingan volume	Volume lepas	Volume absolut	Volume normalisasi	W bahan	Kebutuhan	Kebutuhan	Per-sampel
Satuan		m ³	m ³	m ³	kg	kg	g	g
Semen	1	1250.00	0.397	0.105	329.68	6.22	6216.83	621.68
Pasir	2	2635.76	1.014	0.267	695.17	13.11	13108.84	1310.88
Kerikil	3	3962.85	1.560	0.411	1045.18	19.71	19709.09	1970.91
Air	Fas = 0.65	812.50	0.813	0.214	214.29	4.04	4040.94	404.09
Vulcanic ash (0.05 mm)	0 %	18.75	0.008	0.002	4.95	0	0	0
Jumlah		8679.86	3.792	1.000	2289.26	10	Sampel	1 sampel

Jumlah silinder : 10 buah

Volume Silinder : $0.001571 \times 10 = 0.0157143 \text{ m}^3$

Backup Volume : $1.2 \times 0.0157143 = 0.0188571 \text{ m}^3$

LAMPIRAN 3 MIX DESIGN VARIASI 1 %

MIX DESIGN --> 1 PC : 2 PS : 3 KR ---> FAS di desain = 0.65

Bahan	Perbandingan volume	Volume lepas	Volume absolut	Volume normalisasi	W bahan	Kebutuhan	Kebutuhan	Per-sampel
Satuan		m ³	m ³	m ³	kg	kg	g	g
Semen	1	1250.00	0.397	0.105	329.68	6.22	6216.83	621.68
Pasir	2	2635.76	1.014	0.267	695.17	13.11	13108.84	1310.88
Kerikil	3	3962.85	1.560	0.411	1045.18	19.71	19709.09	1970.91
Air	Fas = 0.65	812.50	0.813	0.214	214.29	4.04	4040.94	404.09
Vulcanic ash (0.05 mm)	1 %	18.75	0.008	0.002	4.95	0.06	62.2	9.33
Jumlah		8679.86	3.792	1.000	2289.26	10	Sampel	1 sampel

Jumlah silinder : 10 buah

Volume Silinder : $0.001571 \times 10 = 0.0157143 \text{ m}^3$

Backup Volume : $1.2 \times 0.0157143 = 0.0188571 \text{ m}^3$

LAMPIRAN 4 MIX DESIGN VARIASI 1.5 %

MIX DESIGN --> 1 PC : 2 PS : 3 KR ---> FAS di desain = 0.65

Bahan	Perbandingan volume	Volume lepas	Volume absolut	Volume normalisasi	W bahan	Kebutuhan	Kebutuhan	Per-sampel
Satuan		m ³	m ³	m ³	kg	kg	g	g
Semen	1	1250.00	0.397	0.105	329.68	6.22	6216.83	621.68
Pasir	2	2635.76	1.014	0.267	695.17	13.11	13108.84	1310.88
Kerikil	3	3962.85	1.560	0.411	1045.18	19.71	19709.09	1970.91
Air	Fas = 0.65	812.50	0.813	0.214	214.29	4.04	4040.94	404.09
Vulcanic ash (0.05 mm)	1.5 %	18.75	0.008	0.002	4.95	0.09	93.3	9.33
Jumlah		8679.86	3.792	1.000	2289.26	10	Sampel	1 sampel

Jumlah silinder : 10 buah

Volume Silinder : $0.001571 \times 10 = 0.0157143 \text{ m}^3$

Backup Volume : $1.2 \times 0.0157143 = 0.0188571 \text{ m}^3$

LAMPIRAN 5 MIX DESIGN VARIASI 2 %

MIX DESIGN --> 1 PC : 2 PS : 3 KR ---> FAS di desain = 0.65

Bahan	Perbandingan volume	Volume lepas	Volume absolut	Volume normalisasi	W bahan	Kebutuhan	Kebutuhan	Per-sampel
Satuan		m ³	m ³	m ³	kg	kg	g	g
Semen	1	1250.00	0.397	0.105	329.68	6.22	6216.83	621.68
Pasir	2	2635.76	1.014	0.267	695.17	13.11	13108.84	1310.88
Kerikil	3	3962.85	1.560	0.411	1045.18	19.71	19709.09	1970.91
Air	Fas = 0.65	812.50	0.813	0.214	214.29	4.04	4040.94	404.09
Vulcanic ash (0.05 mm)	2 %	18.75	0.008	0.002	4.95	0.12	124.4	9.33
Jumlah		8679.86	3.792	1.000	2289.26	10	Sampel	1 sampel

Jumlah silinder : 10 buah

Volume Silinder : $0.001571 \times 10 = 0.0157143 \text{ m}^3$

Backup Volume : $1.2 \times 0.0157143 = 0.0188571 \text{ m}^3$

LAMPIRAN 6 NILAI KUAT TEKAN

SAMPLER	TANGGAL PEMBUATAN	TANGGAL PENGUJIAN	UMUR (hari)	MASSA (g)	DIMENSI (mm)		LUAS BIDANG (mm ²)	GAYA TEKAN (Kn)	KUAT TEKAN (N/mm ²)
					L	D			
A.1	21-12-2016	19-01-2017	28	4025	200	100	785	100	12.73
A.2	21-12-2016	19-01-2017	28	3993	200	100	785	90	11.46
A.3	21-12-2016	19-01-2017	28	4004	200	100	785	120	15.28
A.4	21-12-2016	19-01-2017	28	4053	200	100	785	120	15.28
A.5	21-12-2016	19-01-2017	28	4027	200	100	785	110	14.01
B.1	18-01-2017	14-02-2017	28	4079	200	100	785	90	11.46
B.2	18-01-2017	14-02-2017	28	4193	200	100	785	115	14.64
B.3	18-01-2017	14-02-2017	28	4172	200	100	785	115	14.64
B.4	18-01-2017	14-02-2017	28	4099	200	100	785	125	15.92
B.5	18-01-2017	14-02-2017	28	4066	200	100	785	90	11.46
C.1	25-01-2017	21-02-2017	28	4137	200	100	785	120	15.28
C.2	25-01-2017	21-02-2017	28	4082	200	100	785	150	19.1
C.3	25-01-2017	21-02-2017	28	4208	200	100	785	150	19.1
C.4	25-01-2017	21-02-2017	28	4117	200	100	785	150	19.1
C.5	25-01-2017	21-02-2017	28	4120	200	100	785	95	12.1
D.1	25-01-2017	21-02-2017	28	4105	200	100	785	100	12.73
D.2	25-01-2017	21-02-2017	28	4126	200	100	785	60	7.64
D.3	25-01-2017	21-02-2017	28	4120	200	100	785	100	12.73
D.4	25-01-2017	21-02-2017	28	4073	200	100	785	135	17.19
D.5	25-01-2017	21-02-2017	28	4067	200	100	785	110	14.01

LAMPIRAN 7 NILAI KUAT TEKAN DATA DIELIMINASI

SAMPLER	TANGGAL PEMBUATAN	TANGGAL PENGUJIAN	UMUR (hari)	MASSA (g)	DIMENSI (mm)		LUAS BIDANG (mm ²)	GAYA TEKAN (Kn)	KUAT TEKAN (N/mm ²)
					L	D			
A.1	21-12-2016	19-01-2017	28	4025	200	100	785	100	12.73
A.2	21-12-2016	19-01-2017	28	3993	200	100	785	90	11.46
A.3	21-12-2016	19-01-2017	28	4004	200	100	785	120	15.28
A.4	21-12-2016	19-01-2017	28	4053	200	100	785	120	15.28
A.5	21-12-2016	19-01-2017	28	4027	200	100	785	110	14.01
B.1	18-01-2017	14-02-2017	28	4079	200	100	785	90	11.46
B.2	18-01-2017	14-02-2017	28	4193	200	100	785	115	14.64
B.3	18-01-2017	14-02-2017	28	4172	200	100	785	115	14.64
B.4	18-01-2017	14-02-2017	28	4099	200	100	785	125	15.92
B.5	18-01-2017	14-02-2017	28	4066	200	100	785	90	11.46
C.1	25-01-2017	21-02-2017	28	4137	200	100	785	120	15.28
C.2	25-01-2017	21-02-2017	28	4082	200	100	785	150	19.1
C.3	25-01-2017	21-02-2017	28	4208	200	100	785	150	19.1
C.4	25-01-2017	21-02-2017	28	4117	200	100	785	150	19.1
D.1	25-01-2017	21-02-2017	28	4105	200	100	785	100	12.73
D.3	25-01-2017	21-02-2017	28	4120	200	100	785	100	12.73
D.4	25-01-2017	21-02-2017	28	4073	200	100	785	135	17.19
D.5	25-01-2017	21-02-2017	28	4067	200	100	785	110	14.01

LAMPIRAN 8 NILAI DENSITAS

SAMPLER	TANGGAL PEMBUATAN	TANGGAL PENGUJIAN	MASSA (g)	DIMENSI (mm)		LUAS BIDANG (mm ²)	VOLUME mm ³	DENSITY (g/cm ³)
				L	D			
A.1	21-12-2016	19-01-2017	4025	200	100	785	1570	2.56
A.2	21-12-2016	19-01-2017	3993	200	100	785	1570	2.54
A.3	21-12-2016	19-01-2017	4004	200	100	785	1570	2.55
A.4	21-12-2016	19-01-2017	4053	200	100	785	1570	2.58
A.5	21-12-2016	19-01-2017	4027	200	100	785	1570	2.56
B.1	18-01-2017	14-02-2017	4079	200	100	785	1570	2.60
B.2	18-01-2017	14-02-2017	4193	200	100	785	1570	2.67
B.3	18-01-2017	14-02-2017	4172	200	100	785	1570	2.66
B.4	18-01-2017	14-02-2017	4099	200	100	785	1570	2.61
B.5	18-01-2017	14-02-2017	4066	200	100	785	1570	2.59
C.1	25-01-2017	21-02-2017	4137	200	100	785	1570	2.64
C.2	25-01-2017	21-02-2017	4082	200	100	785	1570	2.60
C.3	25-01-2017	21-02-2017	4208	200	100	785	1570	2.68
C.4	25-01-2017	21-02-2017	4117	200	100	785	1570	2.62
C.5	25-01-2017	21-02-2017	4120	200	100	785	1570	2.62
D.1	25-01-2017	21-02-2017	4105	200	100	785	1570	2.61
D.2	25-01-2017	21-02-2017	4126	200	100	785	1570	2.63
D.3	25-01-2017	21-02-2017	4120	200	100	785	1570	2.62
D.4	25-01-2017	21-02-2017	4073	200	100	785	1570	2.59
D.5	25-01-2017	21-02-2017	4067	200	100	785	1570	2.59

LAMPIRAN 9 NILAI ABSORBSI

SAMPSEL	TANGGAL PEMBUATAN	TANGGAL PENGUJIAN	DIMENSI (mm)		BERAT KERING OVEN (g)	BERAT RENDAMAN (g)	ABSORBSI (%)
			L	D			
A.1	21-12-2016	23-01-2017	0.25	100	970	1053	8.56
A.2	21-12-2016	23-01-2017	0.25	100	938	1021	8.85
A.3	21-12-2016	23-01-2017	0.25	100	949	1032	8.75
B.1	18-01-2017	16-02-2017	0.25	100	1027	1110	8.08
B.2	18-01-2017	16-02-2017	0.25	100	1026	1105	7.70
B.3	18-01-2017	16-02-2017	0.25	100	1040	1123	7.98
C.1	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1021	1094	7.15
C.2	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1073	1146	6.80
C.3	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1068	1141	6.84
D.1	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1086	1169	7.64
D.2	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1033	1116	8.03
D.3	25-01-2017	23-02-2017	0.25	100	1026	1110	8.19

LAMPIRAN 10 DOKUMENTASI



Bacillus altitudinis



Pembiakan bakteri melalui media cair Pepton, NaCl, ekstrak ragi



Sterilisasi dengan sinar UV



Sterilisasi dengan Mesin *Autoclav*



Proses *shaker*



Pencampuran abu vulkanik dengan bakteri





Proses pembekuan Abu Vulkanik



Proses *Freeze Dry*



Abu Vulkanik telah terimpregnasi *Bacillus altitudinis*



Penyaringan Agregat



Proses Mixing



Proses pencetakan



Proses perawatan dengan karung basah



Bio Concrete



Uji kuat tekan



Uji absorpsi rendaman air



Uji absorpsi kering oven



Perendaman asam sulfat



Uji Titrasi



Hendry Anjar Purwanto, Lahir di Jakarta pada tanggal 28 September 1992, Putra kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Rudy Irianto dan Ibu Adi Sri Rahayu. Pendidikan yang pernah ditempuh sekolah dasar di SD Negeri Kali Abang Tengah VII Bekasi lulus pada tahun 2005 lalu melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 19 Bekasi dan lulus pada tahun 2008, melanjutkan Sekolah Menengah Atas di Madrasah Aliyah Negeri 8 Jakarta lulus pada tahun 2011, Selama masa pendidikan penulis tergabung dalam OSIS sebagai Bendahara Umum 1 dan Ketua Paskibra di Madrasah Aliyah Negeri 8 Jakarta. Selanjutnya penulis melanjutkan ke jenjang Strata 1 pada Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik di Universitas Negeri Jakarta masuk melalui jalur SNMPTN.

Selain itu penulis juga mengikuti Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Catur Bangun Mandiri (Persero) Tbk Proyek OAK TOWER SKY GARDEN Jl Perintis Kemerdekaan Kav.99 Jakarta pada tahun 2014. Dan mengikuti Praktek Keterampilan Mengajar (PKM) di SMK Negeri 1 Jakarta pada tahun 2014 sebagai pengajar mata pelajaran Gambar Teknik dan Ilmu Ukur Tanah. Penulis menyelesaikan studi strata 1 ditahun 2017 dengan judul skripsi bahan yaitu “Karakteristik Beton Dengan Penambahan *Agent* Bakteri Dalam Media Abu Vulkanik”.