

**SKRIPSI  
PENGARUH VARIASI W/B DAN FLY ASH  
TERHADAP MIKROSTRUKTUR FOAMED CONCRETE**



**MUHAMMAD FADLI RIDHO  
03011181320003**

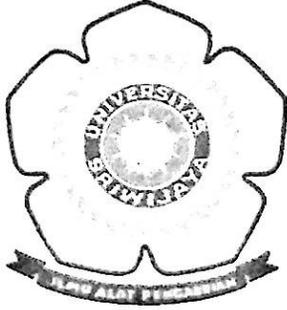
**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2017**

S-  
691.307  
Muh  
P  
2017

101044.

K

**SKRIPSI**  
**PENGARUH VARIASI W/B DAN FLY ASH**  
**TERHADAP MIKROSTRUKTUR FOAMED CONCRETE**



**MUHAMMAD FADLI RIDHO**  
**03011181320003**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2017**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH W/B DAN *FLY ASH*  
TERHADAP MIKROSTRUKTUR *FOAMED CONCRETE***

**SKRIPSI**

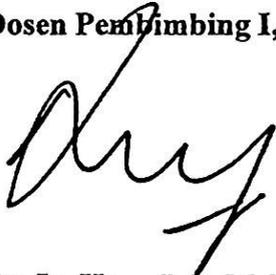
Dibuat Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar  
Sarjana Teknik

Oleh :

**MUHAMMAD FADLI RIDHO**  
**03011181320003**

**Palembang, November 2017**

**Dosen Pembimbing I,**



**Dr. Ir. Hanafiah, M.S.**  
**NIP. 195603141985031020**

**Diperiksa dan disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing II,**



**Dr. Saloma, S.T., M.T.**  
**NIP. 197610312002122001**

**Mengetahui/Menyetujui  
Ketua Jurusan Teknik Sipil,**



**Ir. Helmi Hakki, M.T.**  
**NIP. 196107031991021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "Pengaruh Variasi W/B dan *Fly Ash* terhadap Mikrostruktur *Foamed Concrete*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 1 November 2017.

Palembang, November 2017

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. **Dr. Ir. Hanafiah, M.S.**  
NIP. 195603141985031020

(  )

2. **Dr. Saloma, S.T., M.T.**  
NIP. 197610312002122001

(  )

Anggota:

3. **Ir. H. Yakni Idris, M.Sc.**  
NIP. 195812111987031002

(  )

4. **Ir. Rizirwan, M.T.**  
NIP. 195312121985031014

( )

5. **Ir. Hj. Ika Juliantina, M.S.**  
NIP. 196007011987102001

( )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil



**Ir. Helmi Hakki, M.T.**  
NIP. 196107031991021001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fadli Ridho

NIM : 03011181320003

Judul : Pengaruh Variasi W/B dan *Fly Ash* Terhadap Mikrostruktur *Foamed Concrete*

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan / plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, November 2017

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadli Ridho

NIM. 03011181320003

## HALAMAN PERNYATAAN PESETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fadli Ridho

NIM : 03011181320003

Judul : Pengaruh Variasi W/B dan *Fly Ash* Terhadap Mikrostruktur *Foamed Concrete*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, November 2017

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Fadli Ridho

NIM. 03011181320003

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan hasil yang baik. Penyusunan laporan ini sangat dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Sirakdi dan Ibu Umiyani sebagai orang tua penulis karena telah memberi semangat dan doa dalam kelancaran penulisan laporan tugas akhir ini.
2. Ibu Ir. Helmi Hakki, M.T., selaku Ketua pembimbing akademik yang telah turut membantu dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Hanafiah, M.S., dan Ibu Dr. Saloma, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini.
4. Serta teman dari Teknik Sipil 2013, dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang turut andil dalam membantu penulis untuk menyelesaikan laporan ini.

Akhir kata sangat menyadari bahwa laporan yang telah dibuat ini masih perlu dilengkapi, maka kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan. Semoga laporan tugas akhir yang telah dibuat ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca.

Palembang, Oktober 2017



Muhammad Fadli Ridho

## RINGKASAN

### PENGARUH VARIASI W/B DAN *FLY ASH* TERHADAP MIKROSTRUKTUR *FOAMED CONCRETE*

Karya tulis ilmiah ini berupa skripsi, November 2017

Muhammad Fadli Ridho; Dibimbing oleh Hanafiah dan Saloma

xx + 65 halaman, 51 gambar, 20 tabel, 2 persamaan.

*Foamed concrete* termasuk kategori beton ringan (*lightweight concrete*), perbedaan *foamed concrete* dan beton konvensional adalah dengan mengganti agregat kasar pada beton konvensional dengan busa buatan (*foaming agent*). Penelitian ini memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai bahan substitusi semen. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi w/b dan penggunaan *fly ash* terhadap mikrostruktur *foamed concrete*. Variasi w/b yang digunakan adalah 0,425, 0,450, 0,475, 0,500 sedangkan persentase substitusi *fly ash* adalah 0%, 10%, 15% dan 20% terhadap semen. Metodologi pelaksanaan yang digunakan adalah metodologi eksperimental yang pembuatan dan pengujiannya sesuai dengan ASTM. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian beton segar, kuat tekan beton umur 28 hari, dan pengujian SEM. Pengujian beton segar meliputi pengujian *slump flow*, dan *setting time*. Hasil penelitian menunjukkan nilai *slump flow* meningkat seiring peningkatan variasi w/b dan substitusi *fly ash* terhadap semen. Variasi w/b = 0,500 dengan *fly ash* 20% menunjukkan nilai *slump flow* terbesar, yaitu 59,50 cm. Hasil pengujian *setting time* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai w/b dan substitusi *fly ash* terhadap semen. Variasi w/b = 0,500 dengan *fly ash* 0% menunjukkan *setting time* paling lama. Variasi w/b = 0,450 dengan *fly ash* 10% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 28 hari paling optimal, sebesar 4.510 MPa dengan berat jenis 1.100,637 kg/m<sup>3</sup> dan menghasilkan mikrostruktur paling padat.

**Kata kunci:** *Foamed concrete*, *fly ash*, mikrostruktur.

# PENGARUH VARIASI W/B DAN FLY ASH TERHADAP MIKROSTRUKTUR FOAMED CONCRETE

Muhammad Fadli Ridho<sup>1\*</sup>, Hanafiah<sup>2</sup>, Saloma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya  
JL. Sriwijaya Negara Kampus Palembang  
E-mail: [mf.ridho@gmail.com](mailto:mf.ridho@gmail.com)

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya  
JL. Sriwijaya Negara Kampus Palembang

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya  
JL. Sriwijaya Negara Kampus Palembang

## Abstrak

*Foamed concrete* termasuk kategori beton ringan (*lightweight concrete*), perbedaan *foamed concrete* dan beton konvensional adalah dengan mengganti agregat kasar pada beton konvensional dengan busa buatan (*foaming agent*). Penelitian ini memanfaatkan limbah *fly ash* sebagai bahan substitusi semen. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi w/b dan penggunaan *fly ash* terhadap mikrostruktur *foamed concrete*. Variasi w/b yang digunakan adalah 0,425, 0,450, 0,475, 0,500 sedangkan persentase substitusi *fly ash* adalah 0%, 10%, 15% dan 20% terhadap semen. Metodologi pelaksanaan yang digunakan adalah metodologi eksperimental yang pembuatan dan pengujiannya sesuai dengan ASTM. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian beton segar, kuat tekan beton umur 28 hari, dan pengujian SEM. Pengujian beton segar meliputi pengujian *slump flow*, dan *setting time*. Hasil penelitian menunjukkan nilai *slump flow* meningkat seiring peningkatan variasi w/b dan substitusi *fly ash* terhadap semen. Variasi w/b = 0,500 dengan *fly ash* 20% menunjukkan nilai *slump flow* terbesar, yaitu 59,50 cm. Hasil pengujian *setting time* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai w/b dan substitusi *fly ash* terhadap semen. Variasi w/b = 0,500 dengan *fly ash* 0% menunjukkan *setting time* paling lama. Variasi w/b = 0,450 dengan *fly ash* 10% menunjukkan nilai kuat tekan beton umur 28 hari paling optimal, sebesar 4.510 MPa dengan berat jenis 1.100,637 kg/m<sup>3</sup> dan menghasilkan struktur mikrostruktur paling padat.

**Kata kunci:** *Foamed concrete*, *fly ash*, mikrostruktur.

## RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Muhammad Fadli Ridho  
Tempat Lahir : Palembang  
Tanggal Lahir : 12 Januari 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
Warga Negara : Indonesia  
Alamat : Jl. Nusa Indah No.59 Rt.36 Rw.11 Kel. Lorok Pakjo Kec.  
Ilir Barat 1 Kota Palembang 30137  
Nama Orang Tua : Sirakdi  
Umiyani  
Alamat Orang Tua : Jl. Nusa Indah No.59 Rt.36 Rw.11 Kel. Lorok Pakjo Kec.  
Ilir Barat 1 Kota Palembang 30137  
No. HP : 081368671877  
E-mail : mf.ridho@gmail.com  
Riwayat Pendidikan

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Muhammadiyah 6 Palembang	-	-	-	2001-2007
SMP Negeri 9 Palembang	-	-	-	2007-2010
SMA Negeri 6 Palembang	-	IPA	-	2010-2013
Universitas Sriwijaya	Teknik	T. Sipil	S-1	2013-2017

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Muhammad Fadli Ridho  
NIM 03011181320003

## DAFTAR ISI

UPT PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS SRIWIJAYA
NO. DAFTAR : 181210
TANGGAL : 02 MAR 2018

Halaman

Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Halaman Persetujuan .....	iii
Halaman Pernyataan Integritas .....	iv
Halaman Pernyataan Pesetujuan Publikasi .....	v
Kata Pengantar .....	vi
Ringkasan .....	vii
Abstrak .....	viii
Riwayat Hidup .....	ix
Daftar Isi .....	x
Daftar Gambar .....	xiii
Daftar Tabel .....	xv
Daftar Persamaan .....	xvii
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Ruang Lingkup Data .....	2
1.5. Metode Pengumpulan Data .....	3
1.6. Rencana Sistematika .....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. <i>Foamed Concrete</i> .....	5
2.2. Material Pembentuk <i>Foamed Concrete</i> .....	6
2.2.1. Semen .....	6
2.2.2. Air .....	7
2.2.3. Agregat Halus .....	8
2.2.4. <i>Fly Ash</i> .....	9

2.2.5. <i>Foaming Agent</i> .....	10
2.3. Faktor yang Mempengaruhi <i>Foamed Concrete</i> .....	11
2.3.1. Variasi <i>Foam</i> .....	12
2.3.2. Variasi <i>Fly Ash</i> .....	12
2.3.3. Faktor Air Binder (w/b).....	14
2.4. Komposisi Campuran .....	15
2.5. Pengujian Beton Segar .....	16
2.5.1. Pengujian <i>Slump</i> .....	16
2.5.2. Pengujian <i>Setting Time</i> .....	17
2.6. Perawatan Beton ( <i>Curing</i> ) .....	18
2.6.1. Metode Perawatan dengan Pembasahan .....	18
2.6.2. Metode Perawatan dengan Penguapan .....	19
2.6.3. Metode Perawatan dengan Membran .....	19
2.7. Karakteristik <i>Foamed Concrete</i> .....	20
2.7.1. Pengujian Berat Jenis .....	20
2.7.2. Pengujian Kuat Tekan .....	20
2.8. Pengujian Mikrostruktur <i>Foamed Concrete</i> .....	21
2.8.1. Pori .....	21
2.8.2. Perbandingan Hasil Visual dengan Kuat Tekan .....	24
3. RENCANA METODOLOGI PENELITIAN .....	26
3.1. Studi Literatur .....	26
3.2. Alur Penelitian .....	26
3.3. Material Pembentuk <i>Foamed Concrete</i> .....	29
3.4. Peralatan .....	31
3.5. Tahapan Pengujian di Laboratorium .....	35
3.5.1. Tahap I .....	35
3.5.2. Tahap II .....	35
3.5.3. Tahap III .....	36
3.5.4. Tahap IV .....	37
3.5.5. Tahap V .....	42

4.	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	44
4.1.	Hasil Pengujian Beton Segar .....	44
4.1.1.	<i>Slump Flow</i> .....	44
4.1.2.	<i>Setting Time</i> .....	47
4.2.	Pengujian Berat Jenis Beton .....	51
4.3.	Pengujian Kuat Tekan Beton .....	55
4.4.	Hasil Pengamatan Mikrostruktur .....	57
5.	PENUTUP .....	61
5.1.1.	Kesimpulan .....	61
5.1.2.	Saran .....	61
	DAFTAR PUSTAKA .....	62

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1. Hasil uji SEM pada <i>fly ash</i> .....	10
Gambar 2.2. <i>Foam Generator</i> .....	11
Gambar 2.3. Hubungan Antara variasi jumlah <i>foam</i> dan berat jenis <i>foamed concrete</i> dengan variasi persentase bottom ash .....	12
Gambar 2.4. Pengaruh w/c terhadap kuat tekan <i>foamed concrete</i> .....	14
Gambar 2.5. Pengaruh w/c terhadap kuat tekan <i>foamed concrete</i> .....	15
Gambar 2.6. Alat uji <i>slump</i> .....	17
Gambar 2.7. Alat uji <i>setting time</i> .....	17
Gambar 2.8. Metode perawatan dengan membran .....	20
Gambar 2.9. SEM <i>foamed concrete</i> 500 kg/m <sup>3</sup> variasi w/c 0,40-0,60 .....	22
Gambar 2.10. SEM <i>foamed concrete</i> 800 kg/m <sup>3</sup> variasi w/c 0,40-0,60 .....	23
Gambar 2.11. Foto SEM penelitian Awang et al.(2016) .....	24
Gambar 3.1. Diagram tahap metodologi penelitian .....	28
Gambar 3.2. Semen <i>Portland</i> .....	29
Gambar 3.3. Agregat Halus .....	29
Gambar 3.4. Air .....	30
Gambar 3.5. <i>Foaming agent</i> .....	30
Gambar 3.6. <i>Fly ash</i> .....	31
Gambar 3.7. Mixer .....	31
Gambar 3.8. Timbangan <i>digital</i> .....	32
Gambar 3.9. Bekisting benda uji .....	32
Gambar 3.10. Gelas ukur .....	33
Gambar 3.11. <i>Foam generator</i> .....	33
Gambar 3.12. Alat uji <i>slump flow</i> .....	34
Gambar 3.13. Alat uji kuat tekan .....	34
Gambar 3.14. Alat Pengujian SEM .....	35
Gambar 3.15. Hasil uji SEM .....	36
Gambar 3.16. Penimbangan material .....	37

Gambar 3.17. Proses pengadukan material .....	38
Gambar 3.18. Proses pencampuran material dengan air .....	38
Gambar 3.19. Proses pencampuran <i>foam</i> kedalam mortar dan hasil campuran .	39
Gambar 3.20. Proses pengujian <i>slump flow</i> .....	40
Gambar 3.21. Proses pengujian <i>setting time</i> .....	40
Gambar 3.22. Proses pencetakan beton .....	41
Gambar 3.23. Proses curing .....	41
Gambar 3.24. Proses pengujian berat jenis .....	42
Gambar 3.25. Proses pengujian kuat tekan .....	42
Gambar 3.26. Sampel <i>foamed concrete</i> di- <i>coating gold-paladium</i> .....	43
Gambar 4.1. Pengaruh <i>water binder ratio</i> terhadap hasil <i>slump flow</i> .....	44
Gambar 4.2. Pengaruh persentase <i>fly ash</i> terhadap hasil <i>slump flow</i> .....	46
Gambar 4.3. Pengaruh w/b terhadap hasil <i>initial setting time</i> .....	48
Gambar 4.4. Pengaruh w/b terhadap hasil <i>final setting time</i> .....	48
Gambar 4.5. Pengaruh persentase <i>fly ash</i> terhadap hasil <i>initial setting time</i> .....	50
Gambar 4.6. Pengaruh persentase <i>fly ash</i> terhadap hasil <i>finall setting time</i> .....	50
Gambar 4.7. Pengaruh variasi w/b terhadap berat jenis pada umur 28 hari.....	53
Gambar 4.8. Pengaruh <i>fly ash</i> terhadap berat jenis pada umur 28 hari.....	54
Gambar 4.9. Pengaruh variasi w/b terhadap kuat tekan umur 28 hari .....	56
Gambar 4.10. Pengaruh <i>fly ash</i> terhadap kuat tekan umur 28 hari .....	57
Gambar 4.11. Foto SEM <i>foamed concrete</i> w/b = 0,425 .....	59
Gambar 4.12. Foto SEM <i>foamed concrete</i> w/b = 0,450.....	60
Gambar 4.13. Foto SEM <i>foamed concrete</i> w/b = 0,475 .....	60
Gambar 4.14. Foto SEM <i>foamed concrete</i> w/b = 0,500 .....	61

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Penggolongan jenis semen (ASTM C 150).....	6
Tabel 2.2. Gradasi saringan ideal agregat halus (ASTM C 33) .....	9
Tabel 2.3. Unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada <i>fly ash</i> (ASTM C - 618 ) .....	10
Tabel 2.4. <i>Mix design foamed concrete</i> dengan variasi <i>fly ash</i> (Thakrele, 2014) .....	13
Tabel 2.5. Nilai kuat tekan dan berat jenis dari hari penelitian (Thakrele, 2014) .....	13
Tabel 2.6. Nilai kuat tekan beton normal berat jenis 2.300 kg/m <sup>3</sup> (Thakrele, 2014).....	13
Tabel 2.7. Komposisi campuran <i>foamed concrete</i> (Onprom et al., 2015) ...	15
Tabel 2.8. Hasil kuat tekan <i>foamed concrete</i> (Onprom et al., 2015).....	16
Tabel 2.9. Karakteristik pori-pori dari hasil uji SEM (Liu et al., 2016) .....	24
Tabel 2.10. Hasil kuat tekan penelitian Awang et al. (2012) .....	25
Tabel 3.1. Komposisi kimia <i>fly ash</i> .....	35
Tabel 3.2. <i>Mix design foamed concrete</i> .....	37
Tabel 4.1. Persentase perubahan <i>slump flow</i> berdasarkan variasi w/b.....	45
Tabel 4.2. Persentase perubahan <i>slump flow</i> berdasarkan variasi persentase <i>fly ash</i> .....	46
Tabel 4.3. Persentase perubahan hasil <i>setting time</i> berdasarkan variasi w/b	49
Tabel 4.4. Persentase perubahan hasil <i>setting time</i> berdasarkan persentase <i>fly ash</i> .....	51
Tabel 4.5. Persentase perubahan berat jenis berdasarkan variasi w/b umur 28 hari.....	54
Tabel 4.6. Persentase perubahan berat jenis berdasarkan persentase <i>fly ash</i> umur 28 hari .....	55
Tabel 4.7. Persentase perubahan kuat tekan berdasarkan variasi w/b umur 28 hari.....	57

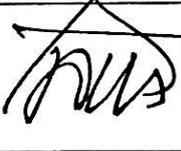
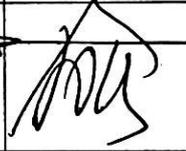
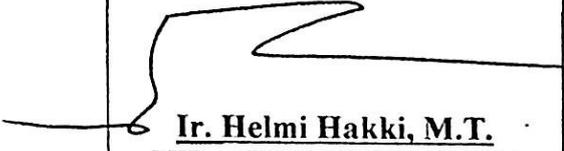
Tabel 4.8. Persentase perubahan kuat tekan berdasarkan persentase <i>fly ash</i> umur 28 hari .....	58
--	----

## DAFTAR PERSAMAAN

	<b>Halaman</b>
Persamaan 2.1. ....	20
Persamaan 2.2. ....	20

HASIL SEMINAR  
 LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA : M FADLI RIDHO  
 NIM : 03011181320003  
 JURUSAN : TEKNIK SIPIL  
 JUDUL LAPORAN : PENGARUH W/B DAN FLY ASH TERHADAP  
 MIKRO STRUKTUR FOAMED CONCRETE  
 DOSEN PEMBIMBING 1 : DR. IR. JANAFIAH, M.S.  
 DOSEN PEMBIMBING 2 : DR. SALOMA, S.T., M.T.

No.	Tanggapan / Saran	Tanda Tangan & Nama Dosen Pemb./Nara Sumber	
		Asistensi	Revisi
1.	Perbaikan hub Tujuan penelitian dan Kesimpulan		
2.	penulisan / rumus / gambar. lihat laporan.		
3.	- Tinjauan pustaka tfg kriteria pengujian mikrokristal - hasil visual vs kekuatan		
4.	- ukuran $\sim$ $\rho_{cc}$ - buat tabel indikator pengujian mikrokristal		
5.	- Tinjauan pustaka tfg w/b ? - Perbaiki kesimpulan - Kesimpulan ada 2 point		
6.			
Kesimpulan :		Ketua Jurusan,  Ir. Helmi Hakki, M.T. NIP. 196107031991021001	

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton adalah campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton merupakan material yang telah lama digunakan sebagai bahan konstruksi. Hal ini disebabkan dalam pengerjaan beton sangat mudah sesuai dengan kebutuhan konstruksi, selain itu untuk biaya perawatan yang relatif murah. Namun beton memiliki kekurangan yaitu perbandingan kekuatan terhadap berat beton itu sendiri, maka dilakukansuatu penelitian untuk menghasilkan beton ringan yang memiliki *strength-to weight ratio* yang lebih baik.

Sejalan dengan berkembangnya teknologi beton, telah banyak dilakukan penelitian mengenai sifat-sifat beton terutama dalam hal meningkatkan kinerja beton. Sifat-sifat beton tersebut berupa sifat mekanis yaitu kuat tekan beton, kuat tarik beton, kuat geser beton, modulus elastisitas, rangkakan, susut, *poisson's ratio* dan permeabilitas. Salah satu penelitian yang telah dilakukan adalah *foamed concrete*. *Foamed concrete* termasuk kategori beton ringan (*lightweight concrete*), perbedaan *foamed concrete* dan beton konvensional adalah dengan mengganti agregat kasar pada beton konvensional dengan busa buatan (*foaming agent*) pada campuran. *Foaming agent* menghasilkan banyak busa kecil yang berfungsi untuk menstabilkan gelembung udara selama proses pencampuran.

Penelitian ini menggunakan *fly ash* sebagai bahan tambahan untuk mengurangi penggunaan semen pada campuran *foamed concret*. *Fly ash* adalah abu terbang hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. *Fly ash* memiliki sifat pozolanik yang sama seperti semen maka digunakan *fly ash* sebagai bahan tambahan, dan karena bahan pembuat *fly ash* ini bersifat alami diharapkan dapat mengurangi polusi udara.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui komposisi optimum untuk dijadikan rekomendasi dalam pembuatan *foamed concrete*. Manfaat lain dari

penelitian ini adalah penggunaan *fly ash* yang dikategorikan sebagai hasil limbah pembakaran batubara menjadi produk dengan nilai guna lebih tinggi.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi w/b terhadap mikrostruktur *foamed concrete*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *fly ash* terhadap mikrostruktur *foamed concrete*?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan menganalisis pengaruh variasi w/b terhadap mikrostruktur *foamed concrete*.
2. Mengetahui dan menganalisis pengaruh penambahan *fly ash* terhadap mikrostruktur *foamed concrete*.

### 1.4. Ruang Lingkup Permasalahan

Ruang lingkup penelitian ini mengenai pengaruh penambahan *fly ash* terhadap sifat mekanik *foamed concrete* adalah:

1. *Fly ash* berasal dari PLTU Bukit Asam
2. Pengujian material menggunakan standar ASTM.
3. Persentase *fly ash* yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen.
4. Variasi w/b yang digunakan 0,425, 0,450, 0,475, 0,500.
5. Konsentrasi *foam* 50%
6. Pasir yang digunakan adalah pasir Tanjung Raja yang lolos saringan No.16
7. Semen *Portland* tipe 1.
8. Jenis *foaming agent* adalah sufraktan *syntethic* dan berwujud cair.
9. Pembuatan benda uji silinder ukuran 10 cm x 20 cm untuk kuat tekan beton.
10. Proses pembuatan *foamed concrete* menggunakan *pre-foamed method*.

11. Pengujian beton segar yang dilakukan adalah *slump flow test* dan *setting time*.
12. Perawatan (*curing*) dilakukan dengan cara benda uji ditutup dengan karung basah.
13. Pengujian berat jenis, kuat tekan dan SEM (Scanning Electrone Microscope) dilakukan pada umur beton 28 hari.

### **1.5. Metode Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini sumber pengumpulan data yang dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu:

#### **1. Data primer**

Data primer adalah data yang diperoleh dari data penelitian secara langsung. Data primer pada penelitian ini adalah pengamatan langsung di laboratorium dan data yang didapatkan pada saat pengujian.

#### **2. Data sekunder**

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari data penelitian yang sudah ada. Data sekunder pada penelitian ini adalah studi pustaka sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan.

### **1.6. Rencana Sistematika Penulisan**

Adapun rencana sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini yang berjudul pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap sifat mekanik *foamed concrete* ini disusun menjadi lima bab, yaitu:

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini menguraikan kajian literatur yang menjelaskan mengenai teori tentang definisi *foamed concrete*, material pembentuk *foamed concrete*, komponen campuran *foamed concrete* serta penelitian terdahulu yang menjadi acuan untuk melaksanakan penelitian ini.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini membahas mengenai material dan alat-alat yang digunakan, pelaksanaan penelitian meliputi pengujian material, pembuatan benda uji serta pengujian benda uji.

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini berisi tentang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian SEM (Scanning Electrone Microscope) pada umur 28 hari.

### **BAB 5 PENUTUP**

Dalam bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari penelitian serta saran untuk perbaikan penelitian dimasa yang akan datang.

### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Foamed Concrete*

*Foamed concrete* merupakan salah satu dari jenis beton ringan. Beton jenis ini mengandalkan gelembung air yang terperangkap di dalamnya sebagai pengganti agregat pada beton normal. *Foamed concrete* termasuk jenis beton ringan karena berat jenisnya yang lebih ringan jika dibandingkan dengan beton normal dengan berat jenis  $2.400 \text{ kg/m}^3$ . Berat jenis *foamed concrete* bervariasi dari  $300 - 2.000 \text{ kg/m}^3$  (Awang et al., 2013). *Foamed concrete* terdiri dari mortar yang ditambahkan busa dengan dosis tertentu sebagai titik ukuran untuk mengendalikan kepadatan beton. Mortar terdiri dari semen *Portland*, pasir, dan air dengan rasio yang telah ditetapkan. Berat jenis mortar biasanya bervariasi antara  $2.150 - 2.250 \text{ kg/m}^3$ .

Menurut Neville and Brooks (1993), salah satu cara untuk menghasilkan beton ringan adalah dengan membuat gelembung udara (*foam*) dalam campuran mortar sehingga menghasilkan material yang berstruktur sel, yang mengandung rongga udara dengan ukuran antara  $0,1 - 1,0 \text{ mm}$  dan tersebar merata sehingga menjadikan sifat beton yang lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap suara.

*Foamed concrete* dibuat dengan mencampurkan *foam* kedalam campuran beton. Fungsi *foam* pada campuran beton adalah untuk menaikkan kandungan udara didalam beton hingga mencapai lebih dari 25%, sehingga berat jenis beton menjadi lebih ringan. *Foamed concrete* bisa digunakan untuk berbagai jenis bentuk bangunan tergantung dari tujuan bangunan tersebut. Sifat dari *foamed concrete* bisa membuatnya mengisi ruang kosong, *self leveling*, insulasi termal yang baik lalu mudah dalam pengecoran di lapangan sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.

*Foamed concrete* memiliki nilai berat jenis yang lebih rendah karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah pori-pori yang dihasilkan oleh gelembung busa pada campuran beton, semakin banyak pori-pori maka berat jenis beton menjadi semakin rendah. Kekurangan *foamed concrete* nilai kuat tekan

menjadi rendah karena beberapa faktor seperti faktor rasio air semen, komposisi dan tipe *foaming agent* yang digunakan pada campuran

## 2.2. Material Pembentuk *Foamed Concrete*

Proses pembuatan *Foamed concrete* menggunakan beberapa material umum untuk membuat beton seperti semen, air, agregat halus, lalu ditambahkan dengan *fly ash* dan *foaming agent* sebagai penghasil gelembung busa.

### 2.2.1. Semen

Semen merupakan bahan utama dalam pembuatan beton, fungsinya untuk mengikat agregat dalam campuran beton. Penggunaan semen sudah lama, hingga pada tahun 1824 diusulkan nama semen Portland oleh Joseph Aspdin karena campuran air, pasir dan batu-batuan yang bersifat pozzolan dan berbentuk bubuk ini pertama kali diolah di pulau Portland, Inggris. Semen Portland adalah semen yang dihasilkan dari proses penghalusan klinker yang mengandung senyawa kalsium, silikat, aluminat dan ferrite. Semua bahan tersebut dicampur serta digiling dan menghasilkan semen.

Semen Portland adalah semen yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. ASTM C 150 menggolongkan semen menjadi 5 golongan. Penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen dapat lebih tepat guna dan spesifik. Penggolongan jenis semen dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penggolongan jenis semen (ASTM C 150)

Tipe	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Panas hidrasi 7 hari(J/g)
		C3S	C2S	C3A	C4Af	
I	Normal	50	24	11	8	330
II, III	Modifikasi	42	33	5	13	250
III	Kuat awal tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas hidrasi rendah	26	50	5	12	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	250

Jenis-jenis tipe semen Portland yaitu:

1. Semen Portland Tipe I

Digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Bisa diaplikasikan pada tanah dan air dengan kandungan sulfat 0% – 0, 10 %. Dapat digunakan sebagai material untuk bangunan rumah pemukiman, gedung bertingkat, perkerasan jalan, struktur rel, dan lain-lain

2. Semen Portland Tipe II

Digunakan untuk konstruksi bangunan dari beton massa yang memerlukan ketahanan sulfat pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0, 10 – 0, 20 % dan panas hidrasi sedang, misalnya bangunan dipinggir laut, bangunan ditanah rawa, saluran irigasi, beton massa untuk dam.

3. Semen Portland Tipe III

Digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misalnya untuk pembuatan jalan beton, bangunan tingkat tinggi, bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.

4. Semen Portland Tipe IV

Digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas yang rendah sehingga tidak terjadi pengembangan volume yang menimbulkan retak (*cracking*). Semen jenis ini memperoleh tingkat kuat beton lebih lambat dibandingkan semen Portland tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam, lapangan udara, bendungan.

5. Semen Portland Tipe V

Digunakan untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah dan air yang mengandung sulfat melebihi 0, 20 % dan sangat baik untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

### 2.2.2. Air

Fungsi air adalah sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai

air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yang terlalu banyak, dan bebas dari material organik (Mindess et al., 2003). Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan ASTM C 1602, antara lain:

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual
3. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/Liter
4. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/Liter. Kandungan senyawa Alkali ( $\text{Na}_2\text{O}+0,658 \text{ K}_2\text{O}$ ) tidak lebih dari 600 ppm, Klorida (Cl) tidak lebih dari 1.000 ppm. dan senyawa Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) tidak lebih dari 3.000 ppm, dan massa bahan padat tidak lebih dari 50.000 ppm.

Air sangat diperlukan pada pembuatan beton guna memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Untuk faktor rasio asir semen juga harus di perhatikan agar beton yang dihasilkan sesuai dengan yang di inginkan.

### 2.2.3. Agregat Halus

Agregat halus yang biasa disebut dengan pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai material pengisi dalam pasta semen, campuran mortar, dan beton. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125 – 06). Agregat yang butiran lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*. Bila butir agregat halus mempunyai ukuran yang seragam menghasilkan volume pori yang besar. Sebaliknya bila ukuran butir pada agregat halus bervariasi, menghasilkan volume pori yang kecil. Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam standar ASTM C 33/03 “*Standard Specification for Concrete Aggregates*”. Gradasi saringan ideal agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Gradasi saringan ideal agregat halus (ASTM C 33)

No	Diameter saringan (mm)	Persen lolos (%)	Gradasi ideal (%)
1	9,5 mm	100	100
2	4,75 mm	95-100	97,5
3	2,36 mm	80-100	90
4	1,18 mm	50-85	67,5
5	600 $\mu$ m	25-60	42,5
6	300 $\mu$ m	5-30	17,5
7	150 $\mu$ m	0-10	5

#### 2.2.4. Abu Terbang (*Fly Ash*)

*Fly ash* adalah limbah padat yang terdiri dari partikel-partikel halus yang muncul dengan gas buang pembakaran dan diangkut dari ruang batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) melakukan proses pembakaran batubara dengan cara ditumbuk didalam ruang bakar boiler. Tabung boiler mengekstrak panas dari boiler pendinginan gas buang dan menyebabkan residu mineral cair yang mengeras dengan membentuk abu. Sisa pembakaran batubara menghasilkan abu yang disebut dengan *fly ash* dan *bottom ash*.

*Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumunia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  fero oksida, ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dan juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TIO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_2$ ), pospor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan carbon. *Fly ash* mengandung sifat pozzolan atau mengandung bahan silika dan alumina, jika dicampurkan dengan air menghasilkan senyawa seperti semen.

Ada beberapa jenis *fly ash* menurut ASTM C 618-05, digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

##### 1. Kelas N

Pozzolan alam dikalsinasi yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku, contohnya tanah diatomic, *opaline chertz*, dan serpihan debu.

##### 2. Kelas F

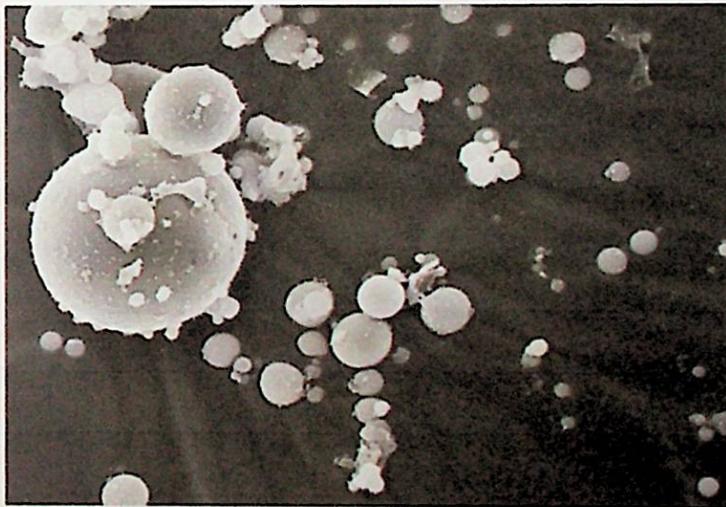
Abu batubara yang umumnya diproduksi dari pembakaran batubara keras yang mengkilat (*anthracite*) atau bitumen batubara yang memenuhi syarat. *Fly ash* kelas f disebut *low calcium fly ash*, karena hanya bersifat pozzoloanik.

### 3. Kelas C

Abu batubara yang umumnya diproduksi dari pembakaran *lignite* atau subbitumen batubara yang memenuhi syarat. *Fly ash* kelas c disebut *high calcium fly ash*, karena kandungan CaO yang cukup tinggi, sehingga mempunyai sifat *cementitious* dan juga memiliki sifat pozzolanik.

Tabel 2.3. Unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada *fly ash* (ASTM C-618)

No	Susunan kimia dan fisika	Kelas F (%)	Kelas C (%)	Kelas N (%)
1	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , min	70	50	70
2	SO <sub>2</sub> , max	5	5	4
3	Kadar Air, max	3	3	3
4	Hilang pijar, max	6	6	10
5	Kehalusan	34	34	34
6	Air yang dibutuhkan, max	105	105	115
7	Ekspansi Autoclave, max	0,8	0,8	0,5



Gambar 2.1. Hasil uji SEM pada *fly ash* (Dobi, 2006)

#### 2.2.5. Foaming Agent

*Foaming agent* adalah bahan yang digunakan untuk membuat busa pada campuran *foamed concrete*. *Foaming agent* mempunyai peranan penting pada *foamed concrete*. *Foaming agent* ditambahkan dengan air menghasilkan gelembung yang dimasukkan ke dalam pasta semen. Sifat pada *foamed concrete*

tergantung dari kualitas jenis *foaming agent* yang digunakan. *Foaming agent* diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

1. *Synthetic foaming agent*, cocok untuk pembuatan beton dengan berat jenis  $1.000 \text{ kg/m}^3$  ke atas.
2. *Protein foaming agent*, cocok untuk pembuatan beton dengan berat jenis dari  $400 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.600 \text{ kg/m}^3$ .

*Foaming agent* berbasis sintetik memiliki berat jenis 40 gram/Liter, jenis *foaming agent* ini murni dari bahan kimia. Sangat baik untuk digunakan pada pembuatan beton dengan berat jenis diatas  $1.000 \text{ kg/m}^3$  dan memberikan kekuatang yang baik. *Synthetic foaming agent* memiliki ukuran gelembung yang lebih halus dibandingkan dengan busa yang dihasilkan oleh *protein foaming agent*, tetapi memberikan kekuatan yang lebih rendah pada *foamed concrete* dengan berat jenis di bawah  $1.000 \text{ kg/m}^3$  (Hamad, 2014).

*Foaming agent* berbasis protein memiliki berat jenis 80 gram/Liter, berasal dari protein hewani seperti darah, tanduk, tulang sapi, dan bangkai hewan lainnya. Hal ini menyebabkan kualitasnya yang bervariasi akibat bahan baku yang digunakan berbeda-beda, dan menghasilkan bau yang tidak sedap. Biasa digunakan untuk pembuatan beton dengan berat jenis yang rendah. *Foam generator* digunakan untuk membuat *foam*. *Foam generator* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



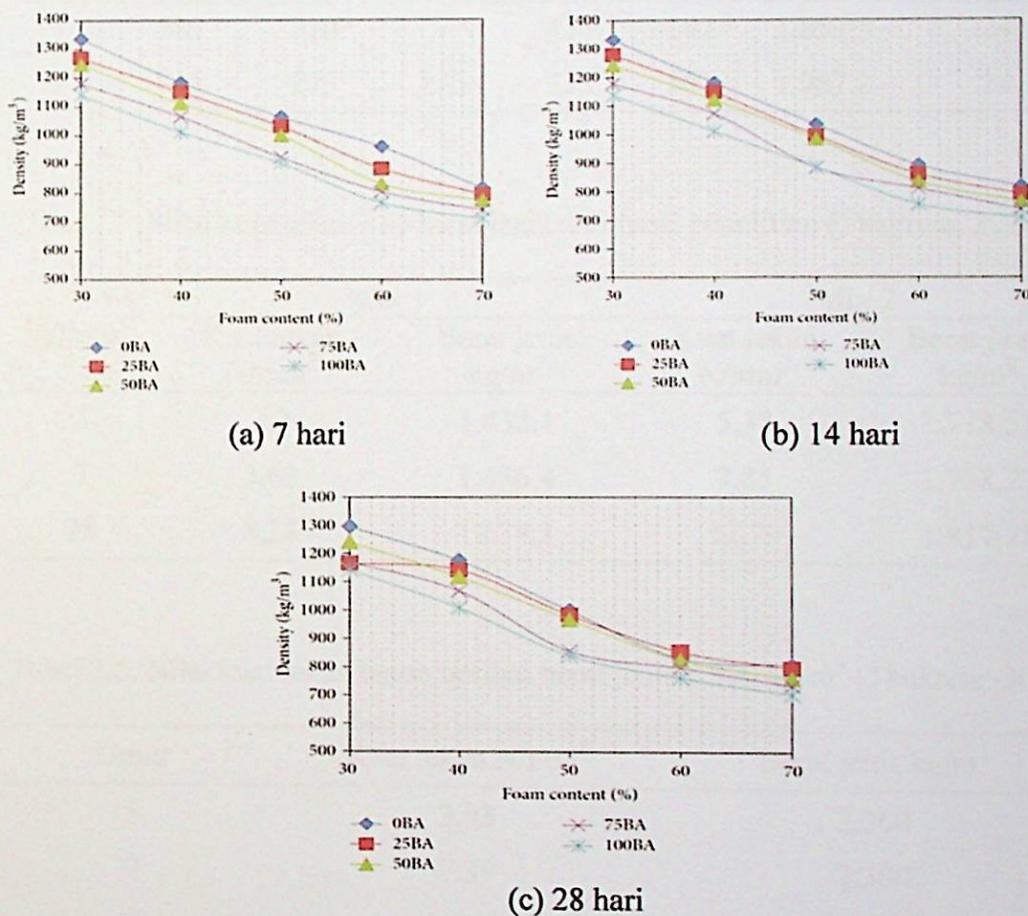
Gambar 2.2. *Foam generator*

### 2.3. Faktor yang Mempengaruhi *Foamed Concrete*

Faktor yang mempengaruhi *foamed concrete* ada beberapa macam seperti variasi *foam*, variasi *fly ash* dan faktor air binder (w/b).

### 2.3.1. Variasi Foam

Menurut Onprom et al. (2015), penggunaan *foam content* lebih dari 50% dapat mengurangi berat jenis sampai dibawah  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . Berdasarkan penelitiannya mix design dengan kandungan 25% *bottom ash*, 50% *foam content* merupakan *mix design* optimum karena menghasilkan *foamed concrete* dengan berat jenis rendah dibawah  $1.000 \text{ kg/m}^3$ , hubungan variasi jumlah *foam* terhadap berat jenis *foamed concrete* pada umur 7, 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hubungan antara variasi jumlah *foam* dan berat jenis *foamed concrete* dengan variasi persentase *bottom ash* (Onprom et al., 2016)

### 2.3.2. Variasi Fly Ash

Menurut Thakrele (2014) penggunaan *fly ash* terlalu banyak pada campuran *foamed concrete* dapat menghambat pengerasan beton pada umur awal,

dikarenakan sifat dari *fly ash* yang membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama dari pada semen untuk mengikat material lainnya. Maka dari itu persentase penggunaan *fly ash* tidak melebihi 45% dari total semen (Tan et al., 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thakrele (2014), *mix design* dengan variasi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. *Mix design foamed concrete* dengan variasi *fly ash* (Thakrele, 2014)

No.	Semen (kg)	<i>Fly Ash</i> (kg)	Pasir (kg)	Air (Liter)	<i>Foam</i> (Liter)	<i>Density</i> (kg/m <sup>3</sup> )	Jumlah sampel
1	710	710	-	430	102	1.857,5	24
2	550	275	825	330	102	1.987,2	24

Tabel 2.5. Nilai kuat tekan dan berat jenis dari hasil penelitian (Thakrele, 2014)

Umur	Mix 1		Mix 2	
	Kuat tekan N/mm <sup>2</sup>	Berat jenis kg/m <sup>3</sup>	Kuat tekan N/mm <sup>2</sup>	Berat jenis kg/m <sup>3</sup>
3	3,2	1.432,1	5,38	1.718,51
7	3,63	1.486,4	7,85	1.738,27
28	8,28	1.674,1	12,79	1.817,28

Tabel 2.6. Nilai kuat tekan beton normal berat jenis 2.300 kg/m<sup>3</sup> (Thakrele, 2014)

Umur	Kuat tekan N/mm <sup>2</sup>	Berat jenis kg/m <sup>3</sup>
3	3,93	2.300
7	7,39	2.300
28	13,8	2.300

Hasil penelitian tersebut menunjukkan pada mix satu yang hanya menggunakan semen dan *fly ash* menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan mix dua yang menggunakan pasir dan *proporsi fly ash* yang dikurangi.

### 2.3.3. Faktor Air Binder (w/b)

Rasio w/b adalah faktor penting yang bisa mempengaruhi kekuatan *foamed concrete*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tan et al. (2014) rasio w/b yang rendah menyebabkan mortar menjadi kental, ukuran *foaming agent* yang tidak sama dan penyebaran *foaming agent* yang tidak merata. Pada rasio w/b yang tinggi, campuran mortar menjadi terlalu encer dan menyebabkan *foamed concrete* mudah hancur. Rasio w/b yang digunakan untuk *foamed concrete* menurut penelitian Tan et al. (2014) adalah 0,4, 0,45, dan 0,5. Rasio w/b optimum terdapat pada nilai 0,45 karena memiliki kuat tekan yang tinggi.

Pada penelitian Tan et al. (2014) nilai w/b = 0,4 mortar yang dihasilkan terlalu kental sehingga penyebaran *foam* didalam mortar tidak merata. Proses pengerasan pada nilai w/b = 0,4 relatif cepat karena mortar yang terlalu kental sehingga kuat tekan yang dihasilkan tidak terlalu tinggi.

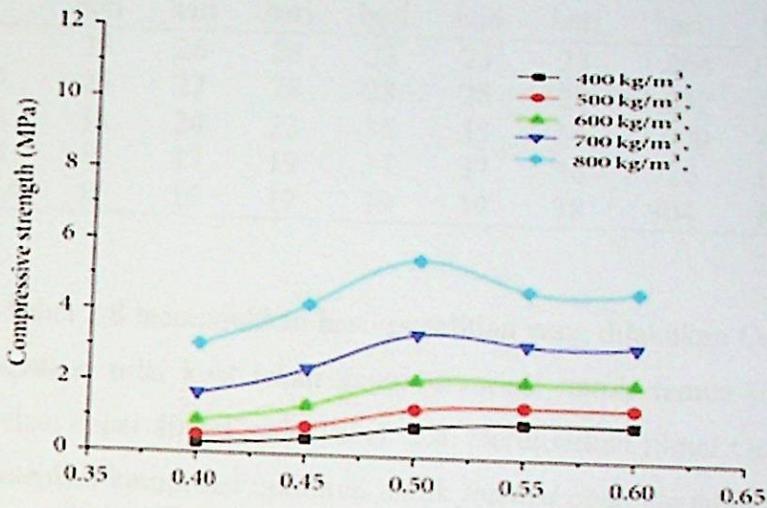
Pada nilai w/b = 0,45 nilai kuat tekan yang dihasilkan beton meningkat dari beton dengan nilai w/b = 0,4, hal ini disebabkan penyebaran *foam* merata dan ukuran *foam* yang dihasilkan lebih baik sehingga membentuk struktur pori yang baik saat beton mengeras.

Pada nilai w/b = 0,5 nilai kuat tekan yang dihasilkan beton menurun dari beton dengan nilai w/b = 0,45, hal ini disebabkan kandungan air yang terlalu tinggi sehingga campuran mortar terlalu encer. Campuran mortar yang terlalu encer mengakibatkan *foam* menjadi pecah dan dapat membentuk jaringan kapiler saat beton mengeras.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Liu et al. (2016) dengan membuat sampel dengan nilai *density* masing-masing yaitu 400, 500, 600, 700, 800 kg/m<sup>3</sup>. Peningkatan rasio w/b pada masing-masing sampel menyebabkan kekuatan *foam concrete* semakin menurun, karena pada saat w/b rendah menghasilkan pori-pori yang tidak beraturan dan berukuran kecil, sementara sebaliknya dengan w/b yang semakin tinggi kemampuan gelembung untuk bertahan di campuran mortar lebih lemah dan gelembungnya mudah saling bergabung menyebabkan pori-pori dengan diameter besar dan pori-pori tidak terdistribusi dengan baik.

Dengan banyaknya air dalam campuran mortar, bisa membentuk saluran kapiler setelah proses hidrasi dan menyebabkan *foam concrete* tidak padat dan

mengurangi kekuatannya. Pengaruh w/b terhadap kuat tekan *foamed concrete* menurut (Liu et al., 2016) ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pengaruh w/b terhadap kuat tekan *foamed concrete* (Liu et al., 2016)

#### 2.4. Komposisi Campuran

Komposisi campuran *foamed concrete* belum memiliki standar baku. Penentuan komposisi campuran beton yang digunakan pada penelitian *foamed concrete* mengacu pada ACI 523.3R "Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less Than 2500 psi" yang dimodifikasi dengan jurnal Onprom et al (2015). Komposisi campuran dibuat berdasarkan proporsi volume 1 m<sup>3</sup>. Komposisi campuran pada penelitian Onprom et al (2015) ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Komposisi campuran *foamed concrete* (Onprom et al., 2015)

Sampel	Proporsi mix design				
	Semen	Pasir	Air	Foam	Bottom ash
50V0BA	0,127	0,155	0,218	0,5	0
50V25BA	0,121	0,116	0,224	0,5	0,039
50V50BA	0,115	0,078	0,229	0,5	0,078
50V75BA	0,110	0,039	0,235	0,5	0,116
50V100BA	0,104	0	0,241	0,5	0,155

Tabel 2.8. Hasil kuat tekan *foamed concrete* (Onprom et al., 2015)

Sampel	Kuat tekan (MPa)			Penyerapan air (%)			Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )		
	7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari	7 hari	14 hari	28 hari
50V0BA	25	26	28	23	23	23	1.064	1.034	999
50V25BA	25	27	28	28	28	28	1.032	995	984
50V50BA	18	20	23	35	35	34	1.000	984	968
50V75BA	16	17	19	37	37	36	924	883	856
50V100BA	15	16	17	39	39	38	904	884	840

Pada Tabel 2.8 menunjukkan hasil penelitian yang dilakukan Onprom et al., (2015) didapatkan nilai kuat tekan yang bervariasi untuk semua jenis sampel. Nilai kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 2.8. Berdasarkan jurnal Onprom et al., (2015) menetapkan komposisi optimum untuk *foamed concrete* adalah 50% *foam* dari total campuran.

## 2.5. Pengujian Beton Segar

Pada umumnya, proses pembuatan beton adalah dengan cara mencampurkan beberapa material yang digunakan seperti air, semen, agregat halus, dan dengan penambahan bahan tambah berupa *fly ash*. Pengujian beton segar kemudian dilakukan untuk mengetahui konsistensi campuran sebagai dasar mempermudah pekerjaan. Pada dasarnya pengujian beton segar dilakukan untuk melihat konsistensi campuran sebagai dasar untuk kemudahan pekerjaan. Pengujian yang dilakukan adalah *slump*

### 2.5.1. Pengujian *Slump Flow*

Uji *slump flow* dilakukan sebagai standar pengujian untuk mengetahui tingkat *workability* dan homogenitas pada campuran. Peralatan yang digunakan dalam uji *slump* berupa pan berukuran 50 cm × 50 cm, tongkat pemadat berukuran 40 cm, dan kerucut (*slump cone*) yang kedua ujungnya terbuka, dengan ukuran 20 cm diameter bagian atas, 10 cm diameter bawah, dan 30 cm tinggi kerucut.

Metode pelaksanaannya adalah dengan memasukkan campuran beton segar sebanyak 1/3 dari volume kerucut lakukan sebanyak 3 kali dengan ukuran yang

sama hingga penuh, lalu angkat kerucut dan ukur pelebaran diameter campuran beton segar yang terjadi di bagian alas kerucut.

Konsistensi campuran didefinisikan oleh pengukuran kemampuan menyebar dan mengalirnya. Hal ini dapat dikurangi dengan menambahkan *foam* kedalam campuran dengan rasio tertentu atau penambahan jenis filler lain (Nambiar dan Ramamurthy, 2008). Alat uji *slump* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Alat uji *slump flow*

### 2.5.2. *Setting Time*

Pengujian *setting time* mengacu pada ASTM C 1117. Tujuannya adalah pada saat mortar semen tersebut mulai mengikat sehingga setelah waktu tersebut dilalui, mortar semen tidak boleh diganggu lagi ataupun diubah kembali kedudukannya. Alat pengujian *setting time* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Alat uji *setting time*



## 2.6. Metode Perawatan Beton (*Curing*)

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan, agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur. Untuk menjaga agar proses hidrasi beton dapat berlangsung dengan sempurna maka di perlukan curing untuk menjaga kelembabannya.

### 2.6.1. Metode Perawatan dengan Pembasahan

Pembasahan dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan. Pekerjaan perawatan dengan pembasahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

1. Beton segar ditempatkan dalam ruangan yang lembab
2. Beton segar ditempatkan dalam genangan air
3. Beton segar ditempatkan dalam air
4. Menyelimuti permukaan beton dengan air
5. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
6. Menyirami permukaan beton secara kontinyu
7. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan compound.

Cara 1, 2, dan 3 digunakan untuk contoh uji. Cara 4, 5, 6 digunakan untuk beton di lapangan yang permukaannya mendatar, sedangkan cara 6 dan 7 digunakan untuk yang permukaannya vertikal.

Fungsi utama dari perawatan beton adalah untuk menghindarkan beton dari kehilangan air-semen yang banyak pada saat-saat *setting time concrete*, kehilangan air akibat penguapan pada hari-hari pertama dan perbedaan suhu beton dengan lingkungan yang terlalu besar.

Untuk menanggulangi kehilangan air dalam beton ini dapat dilakukan langkah-langkah perbaikan dengan perawatan. Pelaksanaan *Curing Compound*, sesuai dengan ASTM C.309, dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Tipe I, *Curing Compound* tanpa *Dye*, biasanya terdiri dari paraffin sebagai selaput lilin yang dicampur dengan air.
2. Tipe I-D, *Curing Compound* dengan *Fugitive Dye*, warna hilang selama beberapa minggu.
3. Tipe II, *Curing Compound* dengan zat berwarna putih.

### **2.6.2. Metode Perawatan dengan Penguapan**

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan tekanan rendah berlangsung selama 10-12 jam pada suhu 40°-55°C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10-16 jam pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C. Sebelum perawatan dengan penguapan dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam.

Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan perawatan dengan pembasahan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

### **2.6.3. Metode Perawatan dengan Membran**

Membran yang digunakan untuk perawatan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Bahan yang digunakan harus kering dalam waktu 4 jam (sesuai final setting time), dan membentuk selembur film yang kontinyu, melekat dan tidak bergabung, tidak beracun, tidak selip, bebas dari lubang-lubang halus dan tidak membahayakan beton.

Lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air dapat digunakan dengan sangat efisien. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*). Cara ini harus dilaksanakan sesegera mungkin setelah waktu pengikatan beton. Perawatan dengan cara ini dapat juga dilakukan setelah atau sebelum perawatan dengan

pembahasan. Metode perawatan dengan membran dapat dilihat dengan Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Metode perawatan dengan membran (Hilal et al, 2014)

## 2.7. Karakteristik *Foamed Concrete*

### 2.7.1. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis dengan volume benda uji. Jenis beton dapat dihitung dengan Persamaan 2.1

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

dimana:

$\rho$  = berat jenis beton ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m$  = massa jenis (kg)

$v$  = volume ( $\text{m}^3$ )

### 2.7.2. Pengujian Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton didapat dengan membandingkan gaya yang bekerja terhadap luas penampang benda uji. Berdasarkan ASTM C-39 nilai kuat tekan beton dihitung dengan Persamaan 2.2.

$$f_c' = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

dimana:

$f_c'$  = kuat tekan beton ( $N/mm^2$ )

$F$  = gaya yang bekerja (N)

$A$  = penampang ( $mm^2$ )

## 2.8. Mikrostruktur *Foamed Concrete*

Beton merupakan material komposit yang mempunyai mikrostruktur yang tidak seragam, mikrostruktur pada beton terdiri dari mortar dan agregat. Produk hidrasinya adalah  $CSH_{gel}$ , CH, pori-pori kapiler, dimana  $CSH_{gel}$  di dalam skala nanometer. Dengan adanya perbedaan ukuran  $CSH_{gel}$  dengan agregat maka struktur di dalam beton menjadi bervariasi dan hal tersebut akan mempengaruhi proses perpindahan suatu spesi ke dalam selimut beton.

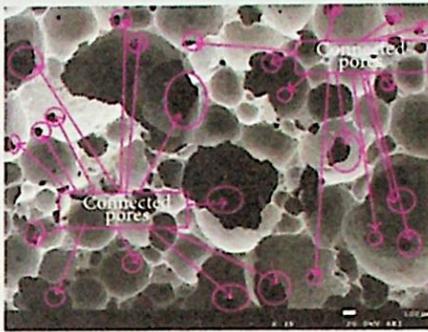
Secara spesifik perpindahan tersebut berhubungan dengan struktur pori beton dan ketersinambungan dari pori-porinya. Ruang yang terbentuk diantara partikel semen yang terhidrasi dan yang tidak terhidrasi dan membentuk pori disebut pori kapiler. Menurut Mehta dan Monteiro (2006), hubungan antara kuat tekan beton, ketahanan beton, stabilitas beton, dan pengaruhnya pada mikrostruktur beton dapat diketahui dalam ilmu mikrostruktur beton.

Untuk mengetahui secara detail perubahan bentuk kristal yang terjadi pada mikrostruktur beton dapat dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM). *Foamed concrete* dengan w/b yang kecil menunjukkan lebih banyak pori-pori yang terhubung. Hal ini dikarenakan bahwa rasio w/b yang kecil menghasilkan tingkat proporsi yang tinggi pada pori-pori kecil di *foamed concrete* dan akhirnya mengakibatkan pori-pori terhubung satu sama lainnya. Berikut adalah kriteria dalam pengujian mikrostruktur.

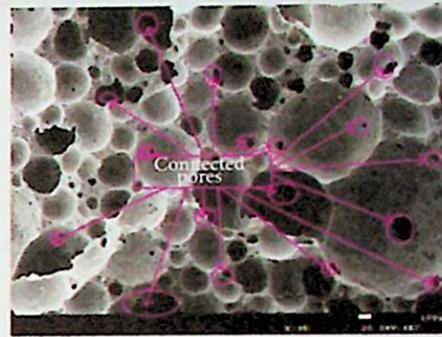
### 2.8.1.Pori

Berdasarkan penelitian Liu et al. (2015), perbandingan antara hasil SEM pada *foamed concrete density*  $500\text{ kg/m}^3$  dan  $800\text{ kg/m}^3$  dengan variasi w/c dari 0.4 sampai 0.6 dapat dilihat pada Gambar 2.9. dan Gambar 2.10. Karakteristik pori-pori dari hasil uji SEM pada sampel  $500\text{ kg/m}^3$  dan  $800\text{ kg/m}^3$  dapat dilihat pada table 2.9

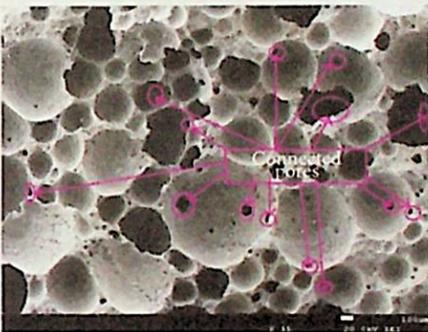
Berdasarkan Gambar 2.9 dan 2.10 kenaikan rasio w/c diameter pori *foamed concrete* rata-rata meningkat secara bertahap dan pori-pori cenderung membulat. Hal ini terjadi karena rasio w/c yang meningkat, mengakibatkan penurunan viskositas dari mortar sehingga *foam* yang berbentuk kecil dalam campuran mortar mudah tercampur dan tersebar merata dalam proses pengadukan.



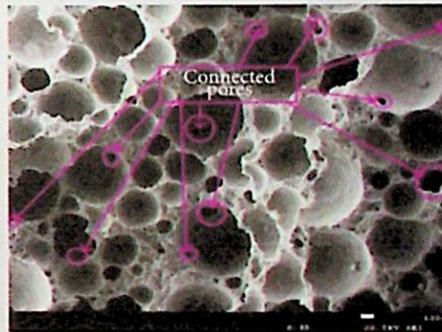
(a) 500-0,40



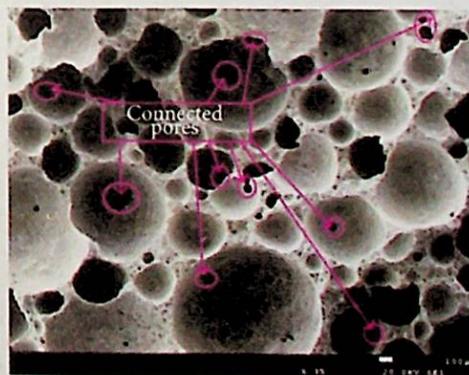
(b) 500-0,45



(c) 500-0,50

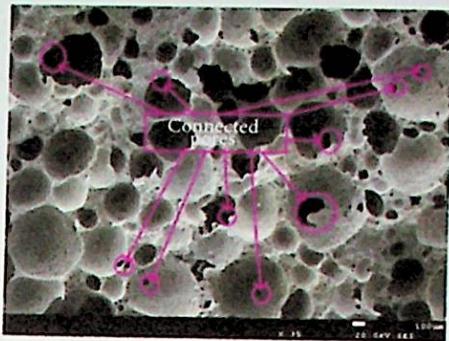


(d) 500-0,55

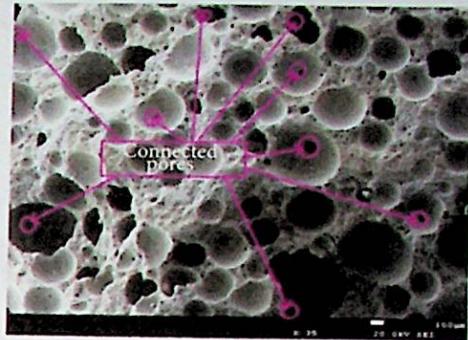


(e) 500-0.60

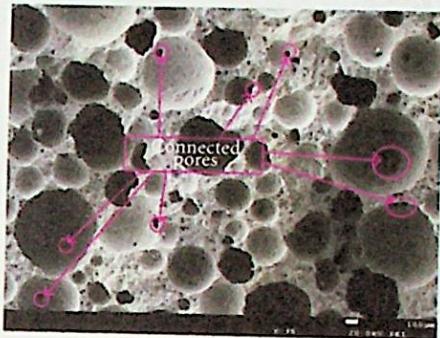
Gambar 2.9. SEM *foamed concrete* 500 kg/m<sup>3</sup> dengan variasi w/c 0.40-0.60 (Liu et al., 2016)



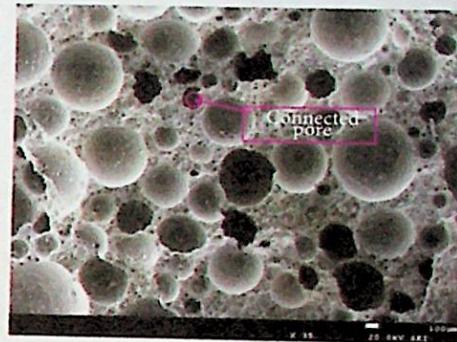
(a) 800-0.40



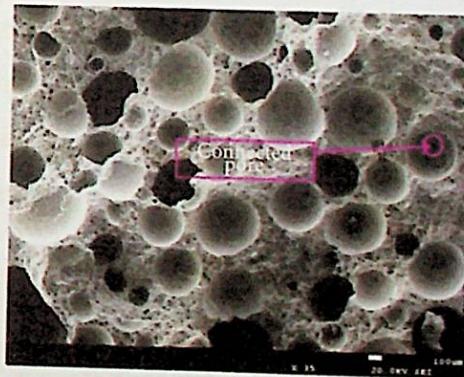
(b) 800-0.45



(c) 800-0.50



(d) 800-0.55



(e) 800-0.60

Gambar 2.10. SEM *foamed concrete* 800 kg/m<sup>3</sup> dengan variasi w/c 0.40-0.60 (Liu et al., 2016)

Berdasarkan Tabel 2.9 karakteristik pori-pori dari hasil uji SEM pada sampel 500 kg/m<sup>3</sup> dan 800 kg/m<sup>3</sup> untuk setiap peningkatan nilai w/c dari 0,40 – 0,60 diameter pori yang dihasilkan meningkat dan tingkat kebulatan pori menurun. Hal ini diakibatkan oleh kadar kekentalan pada mortar, mortar yang kental menghasilkan diameter pori dengan ukuran yang kecil berbanding terbalik

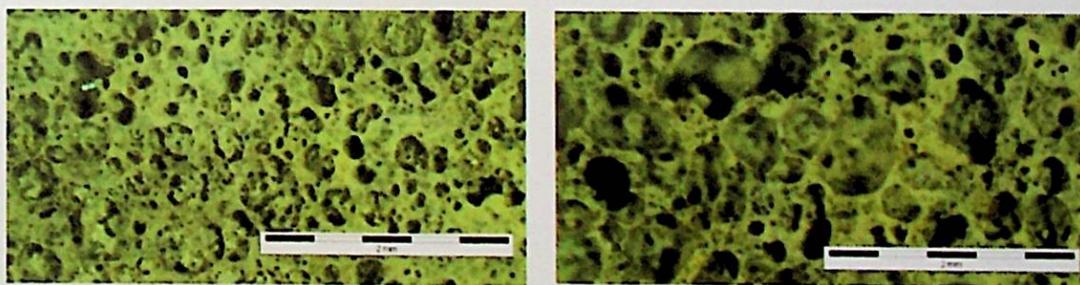
dengan mortar yang encer menghasilkan pori dengan ukuran diameter yang lebih besar.

Tabel 2.9. Karakteristik pori-pori dari hasil uji SEM (Liu et al., 2016)

Specimens	Mean diameter ( $\mu\text{m}$ )	Average value of roundness
500-0,40	208,0	1,46
500-0,45	216,3	1,41
500-0,50	217,7	1,37
500-0,55	228,1	1,31
500-0,60	256,1	1,30
800-0,40	192,5	1,40
800-0,45	197,6	1,38
800-0,50	217,0	1,36
800-0,55	226,3	1,30
800-0,60	245,6	1,28

### 2.8.2. Perbandingan Hasil Visual dengan Kuat Tekan

Pada penelitian Awang et al. (2012) perbandingan mikrostruktur antara *foamed concrete* substitusi *fly ash* dengan *foamed concrete* tanpa substitusi *fly ash* seperti pada Gambar 2.11. Perkembangan kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* lebih lambat dibandingkan dengan tanpa substitusi *fly ash*. *Fly ash* sebagai bahan substitusi membantu dalam memproduksi rongga udara yang lebih seragam, dengan demikian *fly ash* dapat mencegah gelembung bersatu dengan gelembung lainnya dan menghasilkan ukuran gelembung yang seragam.



(a) Dengan substitusi *fly ash*

(b) Tanpa substitusi *fly ash*

Gambar 4.11. Foto SEM penelitian Awang et al. (2016)

Berdasarkan Gambar 2.11 menunjukkan perbedaan tipe mikrostruktur antara beton dengan substitusi *fly ash* dan beton tanpa substitusi *fly ash*. Beton dengan

substitusi *fly ash* menghasilkan pori dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan beton tanpa substitusi *fly ash* yang memiliki diameter pori yang lebih besar. Hasil kuat tekan antara dua jenis beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Hasil kuat tekan pada penelitian Awang et al. (2012)

Substitusi <i>fly ash</i>	Kuat tekan (N/mm <sup>2</sup> )			
	600 kg/m <sup>3</sup>		1.000 kg/m <sup>3</sup>	
	7 hari	28 hari	7 hari	28 hari
0%	0,4	0,5	2,6	3,1
15%	0,2	0,5	2,3	3,2
30%	0,1	0,3	1,6	2,8

Berdasarkan Tabel 2.10 kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* meningkat pada umur beton 28 hari. Kuat tekan optimum terdapat pada substitusi 15% *fly ash* dan kuat tekan menurun pada substitusi 30% *fly ash*, hal ini disebabkan persentase penggunaan *fly ash* akan mempengaruhi proses hidrasi pada beton. Beton dengan substitusi *fly ash* 15% mengalami proses hidrasi yang lebih cepat dibandingkan dengan beton 30% *fly ash* pada umur 28 hari beton sehingga kuat tekan beton substitusi 15% *fly ash* lebih besar dari beton 30% *fly ash*

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode eksperimental merupakan kegiatan ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan tertentu. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat komposisi *foamed concrete* dengan bahan substitusi *fly ash* terhadap semen. Metode eksperimental penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan beton *foamed concrete* dengan *fly ash* terhadap *foamed concrete* tanpa *fly ash* (benda uji kontrol). Penelitian ini dilakukan dengan empat variasi w/b yaitu 0.425, 0.450, 0,475 dan 0.500. Substitusi *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen.

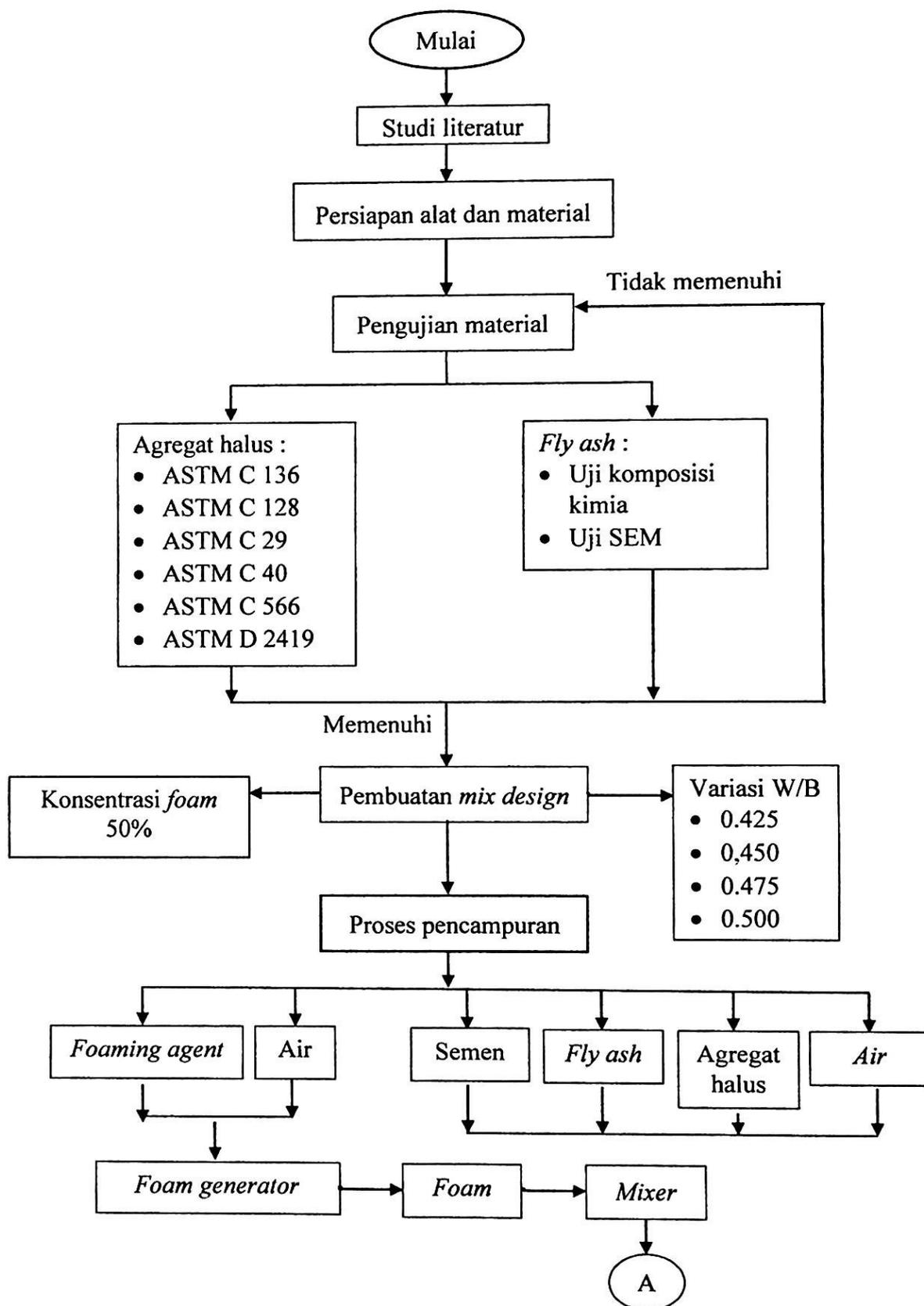
Beton *foamed concrete* diuji dengan empat pengujian, yaitu pengujian beton segar, pengujian berat jenis, pengujian kuat tekan dan pengujian mikrostruktur. Pengujian berat jenis, pengujian kuat tekan, dan pengujian mikrostruktur *foamed concrete* dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian mikrostruktur *foamed concrete* dilakukan dengan pengujian SEM.

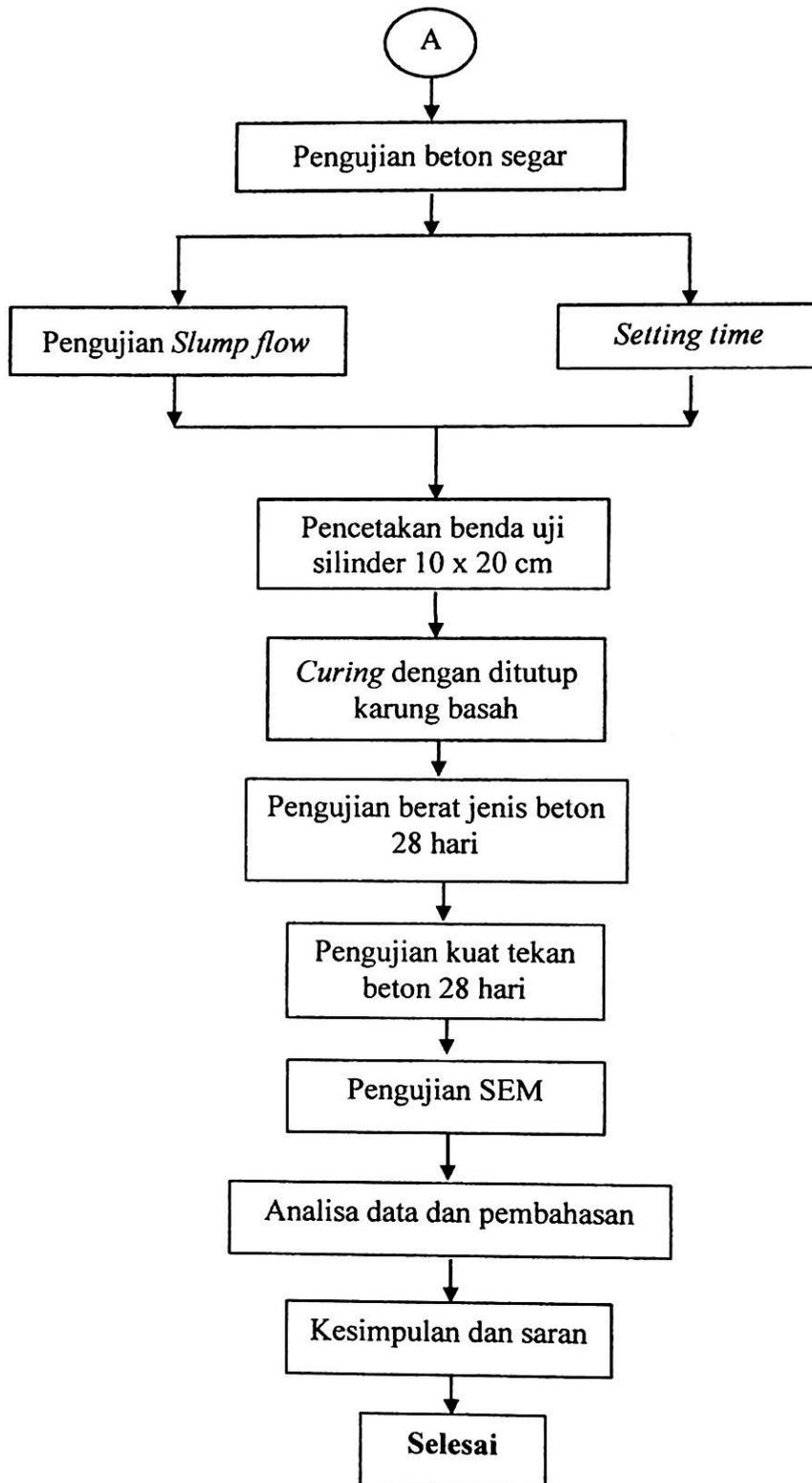
#### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur pada tugas akhir ini adalah pengumpulan data dan pembelajaran bahan yang diteliti. Bahan tersebut diperoleh dari tulisan ilmiah, jurnal, diktat, buku, dan internet yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas. Data yang diperoleh berupa literatur yang berkaitan dengan masalah yang dibahas yaitu pengaruh variasi rasio w/b terhadap mikrostruktur *foamed concrete* dengan penambahan *fly ash*.

#### 3.2. Alur Penelitian

Diagram alir adalah diagram yang digunakan untuk melakukan perencanaan penelitian dan analisis proses sebagai standar pedoman penelitian untuk memudahkan tahapan penelitian. Penelitian dibagi kedalam lima tahap. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram tahapan penelitian

### 3.3. Material Pembentuk *Foamed Concrete*

Pada penelitian ini, terlebih dahulu mempersiapkan material yang digunakan. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *portland*, air, agregat halus, *foaming agent*, dan *fly ash*.

#### 1. Semen *Portland*

Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Ordinary Portland Cement* (OPC) tipe 1 dengan standar ASTM C 150 seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Semen *Portland*

#### 2. Agregat halus

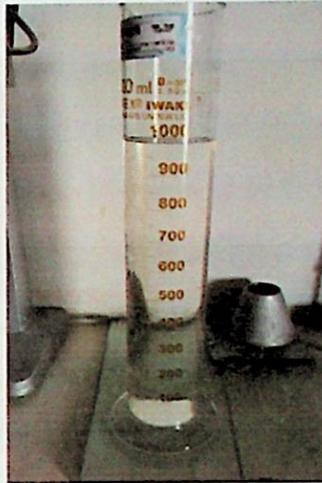
Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir alam yang berasal dari Tanjung Raja. Pada agregat halus dilakukan pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik pasir sesuai dengan standar ASTM C-33. Agregat halus yang digunakan yaitu lolos saringan No.16 (1,18mm) seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Agregat halus

### 3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air bersih. Air bersih yang tidak mengandung bahan kimia, tidak berwarna dan tidak berbau seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Air

### 4. *Foaming agent*

*Foaming agent* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. Gunung Derajat seperti Gambar 3.5. Pada penelitian ini rasio perbandingan *foaming agent* dengan air adalah 1:30. Berat jenis *foam* yang dihasilkan dari *foam generator* adalah  $50 \text{ kg/m}^3$



Gambar 3.5. *Foaming agent*

## 5. *Fly ash*

*Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU PT. Bukit Asam (Persero) Tbk di Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* yang disaring dengan saringan No. 200, *fly ash* yang sudah disaring dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Fly ash*

## 3.4. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian sifat mekanik *foamed concrete* adalah sebagai berikut:

### 1. *Mixer*

*Mixer* yang digunakan pada penelitian ini berbentuk tabung dengan ukuran diameter 70 cm, tinggi 30 cm daya tampung 115 Liter. *Mixer* dapat dilihat pada pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Mixer*

## 2. Timbangan

Timbangan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan digital dengan kapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 dapat dilihat pada pada Gambar 3.8 (a). dan timbangan digital dengan kapasitas 60 kg dengan ketelitian 0,005 dapat dilihat pada Gambar 3.8 (b).



(a) Kapasitas 2 kg

(b) Kapasitas 60 kg

Gambar 3.8. Timbangan *digital*

## 3. Bekisting benda uji

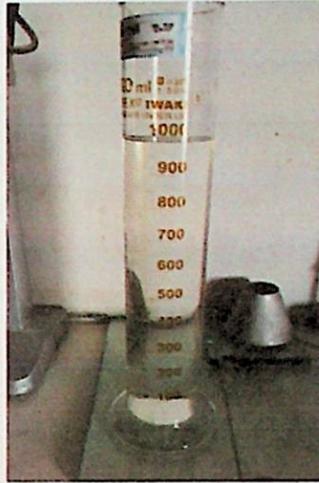
Bekisting benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah bekisting silinder ukuran 10 cm x 20 cm untuk pengujian kuat tekan beton seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Bekisting benda uji

#### 4. Gelas ukur

Gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk memudahkan proses penimbangan material yang bersifat cair seperti air. Gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kapasitas 300 mL, 500 mL, dan 1000 mL seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Gelas ukur

#### 5. *Foam Generator*

*Foam generator* yang digunakan adalah modifikasi dari tabung biasa dengan ditambahkan kompresor seperti Gambar 3.11. Kapasitas tabung yaitu kurang lebih 20 liter untuk menampung air dan *foaming agent*. Kompresor berfungsi untuk memberikan tekanan angin ke dalam tabung sehingga air dan *foaming agent* tercampur.



Gambar 3.11. *Foam generator*

#### 6. Alat *slump flow*

Alat pengujian *slump* yang digunakan pada penelitian ini adalah kerucut terpancung (*slump cone*) yang memiliki diameter 10 cm untuk bagian atas dan 20 cm untuk bagian bawah serta tinggi 30 cm dan pelat dari keramik yang berukuran 60cm x 60cm. Pengujian *slump flow* juga membutuhkan alat seperti meteran atau mistar untuk mengukur diameter beton segar seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Alat uji *slump flow*

#### 7. Alat uji kuat tekan

Alat uji kuat tekan yang digunakan pada penelitian ini memiliki beban maksimum yang mencapai 5.000 kN seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Alat uji kuat tekan

## 8. Alat pengujian SEM

Alat pengujian SEM pada penelitian ini merupakan alat SEM di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung seperti pada Gambar 3.14



Gambar 3.14. Alat pengujian SEM

## 3.5. Tahap-tahap Pengujian di Laboratorium

### 3.5.1. Tahap I

Pada tahap ini dilakukan pra penelitian, studi literatur, laboratorium penelitian, dan persiapan material dan peralatan yang digunakan. Material yang perlu dipersiapkan adalah semen *Portland*, air, agregat halus, *foaming agent* dan *fly ash*. Peralatan yang perlu dipersiapkan adalah timbangan, bekisting benda uji silinder ukuran 10 x 20 cm, *mixer*, gelas ukur, *slump flow*, meteran, alat uji *setting time*, dan alat uji kuat tekan.

### 3.5.2. Tahap II

Pada tahap ini dilakukan pengujian agregat berdasarkan standar ASTM, dengan perincian sebagai berikut:

1. Pengujian analisa saringan dilakukan berdasarkan standar ASTM C 136.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan berdasarkan standar ASTM C 128 untuk agregat halus.
3. Pengujian *bulk density* berdasarkan standar ASTM C 29.
4. Pengujian kandungan organik berdasarkan standar ASTM C 40.
5. Pengujian kadar air agregat berdasarkan ASTM C 566.

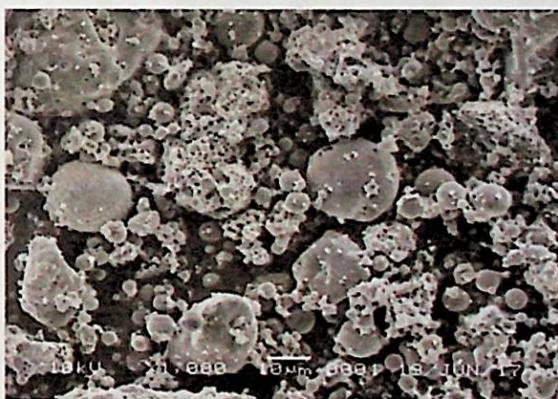
6. Pengujian kadar lumpur berdasarkan ASTM D 2419.

7. Pengujian *clay lump* berdasarkan ASTM C-142

Pengujian selanjutnya adalah komposisi kimia *fly ash*. Adapun komposisi kimia yang terkandung di dalam *fly ash* telah diuji di Laboratorium PT. Semen Baturaja dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) *fly ash* dilakukan di Laboratorium pusat survei geologi, Bandung dengan pembesaran 1.000x dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Tabel 3.1. Komposisi kimia *fly ash*

Unsur kimia	Berat (%)
Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> )	52,96
Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	27,14
Besi (III) Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,80
Kalsium Oksida (CaO)	5,30
Magnesium Oksida (MgO)	2,06
Sulfur Trioksida (SO <sub>3</sub> )	1,12



Gambar 3.15. Hasil uji SEM *fly ash*

### 3.5.3. Tahap III

Pada tahap ini dilakukan penentuan campuran (*mix design*) *foamed concrete* dan melakukan *trial mix*. Komposisi campuran *foamed concrete* dilakukan dengan pengumpulan data dari jurnal. Material yang digunakan terdiri dari semen OPC tipe I, *fly ash*, agregat halus, *foaming agent*.

*Fly ash* digunakan sebagai substitusi semen dengan tujuan menghasilkan proses hidrasi sekunder, persentase yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen. *Foaming agent* sebagai material pembuat *foam* digunakan sebanyak 50% dari volume 1 m<sup>3</sup> *foamed concrete*, dengan perbandingan foaming agent dan air 1 : 30. Variasi w/b pada *mix design foamed concrete* yaitu 0,425, 0,450, 0,475, dan 0,500 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. *Mix design foamed concrete*

Label	OPC (kg)	<i>Fly ash</i> (kg)	w/b	Air (kg)	<i>Foam</i> (L)	Agregat halus (kg)	<i>Foam solution</i>	
							<i>Foaming agent</i> (gr)	Air (kg)
FC-0-0,425	463,4	0,0	0,425	196,9	500	463,4	806,5	172,8
FC-10-0,425	417,1	46,3	0,425	196,9	500	463,4	806,5	172,8
FC-15-0,425	393,9	69,5	0,425	196,9	500	463,4	806,5	172,8
FC-20-0,425	370,7	92,7	0,425	196,9	500	463,4	806,5	172,8
FC-0-0,450	453,4	0,0	0,450	204,0	500	453,4	806,5	179,8
FC-10-0,450	408,1	45,3	0,450	204,0	500	453,4	806,5	179,8
FC-15-0,450	385,4	68,0	0,450	204,0	500	453,4	806,5	179,8
FC-20-0,450	362,7	90,7	0,450	204,0	500	453,4	806,5	179,8
FC-0-0,475	443,8	0,0	0,475	210,8	500	443,8	806,5	186,6
FC-10-0,475	399,4	44,3	0,475	210,8	500	443,8	806,5	186,6
FC-15-0,475	377,2	6,7	0,475	210,8	500	443,8	806,5	186,6
FC-20-0,475	355,0	88,8	0,475	210,8	500	443,8	806,5	186,6
FC-0-0,500	434,6	0,0	0,500	217,3	500	434,6	806,5	193,1
FC-10-0,500	391,1	43,4	0,500	217,3	500	434,6	806,5	193,1
FC-15-0,500	369,4	65,1	0,500	217,3	500	434,6	806,5	193,1
FC-20-0,500	347,7	86,9	0,500	217,3	500	434,6	806,5	193,1

#### 3.5.4. Tahap IV

Merupakan tahap pengecoran, pengujian beton segar, dan *curing* benda uji. Proses pengecoran dimulai dengan menimbang material *foamed concrete* seperti semen, agregat halus, *fly ash*. Proses penimbangan material dapat dilihat pada Gambar 3.16. Dilanjutkan dengan proses pengecoran dilakukan dengan beberapa tahapan. Pertama, semen, agregat halus, *fly ash* dimasukkan kedalam mixer dan diaduk sampai material tercampur rata dapat dilihat pada Gambar 3.17.



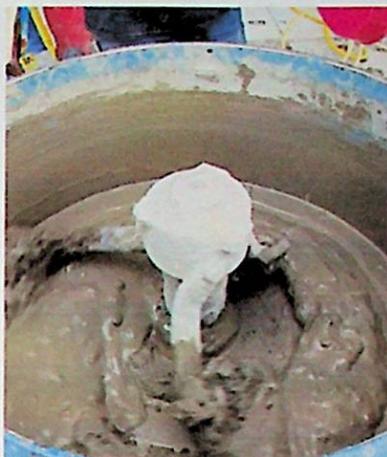
Gambar 3.16. Penimbangan material



Gambar 3.17. Proses pengadukan material

Setelah semen, agregat halus, dan *fly ash* tercampur rata masukkan air kedalam mixer untuk membentuk mortar dan dapat dilihat pada Gambar 3.18. Selanjutnya proses pembuatan *foam*, *foaming agent* dan air dengan komposisi yang telah ditentukan dimasukkan kedalam tabung pembuat *foam*, tabung diberi tekanan sebesar 35 – 40 psi agar campuran antara air dan *foaming agent* menghasilkan *foam*.

Setelah pencampuran mortar selesai, masukkan *foam* kedalam mixer dan aduk kembali sekitar 2 menit sampai mortar dan *foam* tercampur rata. Proses pencampuran *foam* kedalam mortar dan hasil pencampuran antara mortar dan *foam* dapat dilihat pada Gambar 3.19



Gambar 3.18. Proses pencampuran material dengan air



Gambar 3.19. Proses pencampuran *foam* kedalam mortar dan hasil campuran

Setelah proses pengadukan selesai dilakukan pengujian *slump flow* dan *setting time*. Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui kekentalan pada campuran mortar *foamed concrete*.

Proses pengujian *slump flow* dilakukan dengan meletakkan pelat besi dan *slump cone* dengan posisi terbalik ditempat yang rata. Isi *slump cone* dengan mortar *foamed concrete* sampai penuh, lalu angkat *slump cone* dengan arah *horizontal* secara perlahan. Kemudian, ukur diameter campuran mortar yang dihasilkan dari 4 arah dan dirata-ratakan. Proses uji *slump flow* dilakukan untuk setiap *mix design foamed concrete*. Proses pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20. Proses pengujian *slump flow*

Pengujian *setting time* terbagi menjadi 2 tahapan yaitu, pengujian waktu ikat awal yang bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pasta semen berubah sifat dari cair ke plastis dan pengujian waktu ikat akhir yang bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pasta semen menjadi massa yang keras.



Gambar 3.21. Proses pengujian *setting time*

Proses pengujian *setting time* ditunjukkan pada Gambar 3.21. Pengujian *setting time* dimulai dengan meletakkan kerucut terpancung di atas pelat kaca, lalu masukkan adukan beton segar ke dalamnya. Selanjutnya, lepaskan jarum *vicat* ke dalam sampel beton pada interval waktu 30 menit hingga jarum *vicat* mencapai nilai 20 mm. Setelah itu, lepaskan jarum *vicat* pada interval waktu 5 menit, waktu ikat awal diperoleh apabila jarum *vicat* mencapai nilai 25 mm. Setelah mendapatkan waktu ikat awal, jarum *vicat* kembali dilepaskan pada interval

waktu 30 menit sampai pembacaan 5 mm. Waktu ikat akhir diperoleh apabila jarum *vicat* sudah tidak bisa menembus sampel beton.

Sementara itu, untuk proses pencetakan masukkan beton segar kedalam bekisting berukuran 10 x 20 cm lalu dilakukan proses penimbangan beton basah untuk mengetahui berat jenis beton umur 0 hari. Proses pencetakan beton dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22. Proses pencetakan beton

Setelah waktu 24 jam dari pencetakan, beton dilepaskan dari bekisting untuk dilakukan *curing*. *Curing* dilakukan dengan menyelimuti beton dengan karung basah. Proses *curing* dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23. Proses *curing* beton

### 3.5.5. Tahap V

Merupakan tahap pengujian pada benda uji. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian berat jenis, pengujian kuat tekan, dan pengujian SEM.. Pengujian berat jenis dan kuat tekan beton dilakukan dengan menimbang benda uji beton umur 28 hari. Satu hari sebelum pengujian, benda uji dikeluarkan dari ruang curing sehingga dalam proses pengujian benda uji dalam kondisi kering.

Proses pengujian berat jenis beton dilakukan dengan menimbang benda uji beton. Proses pengujian berat jenis beton dapat dilihat pada Gambar 3.24. Proses pengujian kuat tekan beton menggunakan alat uji kuat tekan beton silinder. Proses pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3.24. Proses pengujian berat jenis beton



Gambar 3.25. Proses pengujian kuat tekan beton



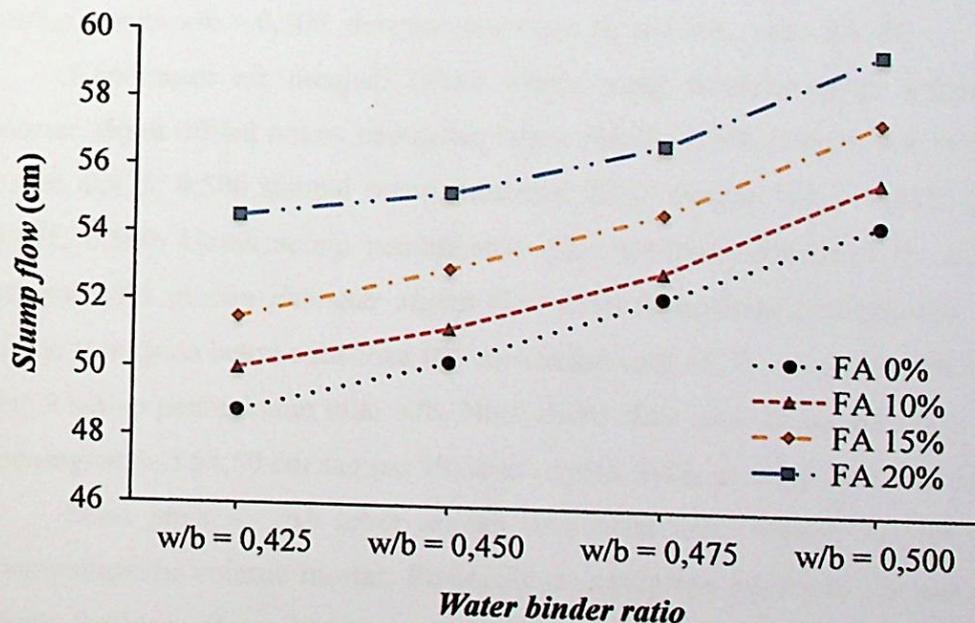
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar pada penelitian yaitu pengujian *slump flow* dan *setting time*.

#### 4.1.1. Slump Flow

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability*, nilai maksimum dan minimum diameter pengaliran beton. Hasil pengujian didapat dengan cara mengukur panjang diameter sebaran mortar dalam empat arah dan saling tegak lurus. Hasil pengujian *slump flow* berkisar antara 48 - 60 cm. Nilai *slump flow* tertinggi terdapat pada campuran FC-20-0,500 yaitu 59,50 cm. Hasil Pengujian *slump flow* berdasarkan *water binder ratio* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan berdasarkan persentase *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Pengaruh *water binder ratio* terhadap hasil *slump flow*

Tabel 4.1. Persentase perubahan *slump flow* berdasarkan variasi w/b

<i>Fly ash</i> (%)	w/b	<i>Slump flow</i> (cm)	Persentase perubahan (%)
0	0,425	48,75	0,00
	0,450	50,00	2,56
	0,475	51,50	3,00
	0,500	54,50	5,83
10	0,425	50,25	0,00
	0,450	51,25	1,99
	0,475	53,00	3,41
	0,500	55,00	3,77
15	0,425	52,00	0,00
	0,450	53,00	1,92
	0,475	54,75	3,30
	0,500	56,75	3,65
20	0,425	54,50	0,00
	0,450	55,75	2,29
	0,475	57,50	3,14
	0,500	59,50	3,48

Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 menunjukkan diameter yang dihasilkan uji *slump flow* dipengaruhi oleh variasi nilai w/b. Setiap peningkatan nilai w/b dari 0,425 – 0,500, nilai *slump flow* semakin besar. Persentase perubahan terbesar terdapat pada w/b = 0,500 dengan persentase *fly ash* 0%, yaitu 5,83%.

Kandungan air menjadi faktor utama yang mempengaruhi kekentalan mortar, dapat dilihat antara campuran beton substitusi 0% dengan w/b = 0,425, 0,450, 0,475, 0,500 sampai beton substitusi 20% dengan w/b = 0,425, 0,450, 0,475, 0,500. Untuk setiap peningkatan nilai w/b pada substitusi *fly ash* 0% sampai 20% ukuran *diameter slump flow* terus mengalami peningkatan. Nilai *slump flow* pada beton substitusi 0% meningkat dari 48,75 cm sampai 54,50 cm untuk setiap peningkatan nilai w/b. Nilai *slump flow* pada beton substitusi 20% meningkat dari 54,50 cm sampai 59,50 cm untuk setiap peningkatan nilai w/b.

Berat jenis *fly ash* lebih rendah dari berat jenis semen, hal ini dapat mempengaruhi volume mortar. Peningkatan persentase substitusi *fly ash* dapat meningkatkan volume mortar, tetapi terdapat perbedaan mikrostruktur antara semen dan *fly ash*. Semen memiliki partikel yang solid dan cenderung tidak membulat hal ini dapat mengurangi gesekan antara butiran, sedangkan partikel *fly ash* cenderung membulat dan tidak memiliki kemampuan penyerapan air

Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 menunjukkan diameter yang dihasilkan uji *slump flow* dipengaruhi oleh persentase *fly ash*. Setiap peningkatan persentase *fly ash*, nilai *slump flow* akan semakin besar, dapat dilihat antara campuran beton  $w/b = 0,425$  dengan substitusi 0% sampai 20% dan campuran beton  $w/b = 0,500$  dengan substitusi 0% sampai 20%. Untuk setiap peningkatan persentase *fly ash* ukuran *diameter slump flow* terus mengalami peningkatan. Nilai *slump flow* pada beton  $w/b = 0.425$  meningkat dari 48,75 cm sampai 54,50 cm untuk setiap peningkatan nilai  $w/b$ . Nilai *slump flow* pada beton substitusi 20% meningkat dari 53,75 cm sampai 59,50 cm untuk setiap peningkatan persentase substitusi *fly ash*. Persentase perubahan terbesar terdapat pada persentase *fly ash* 20% dengan  $w/b = 0,450$ , yaitu 5,19%.

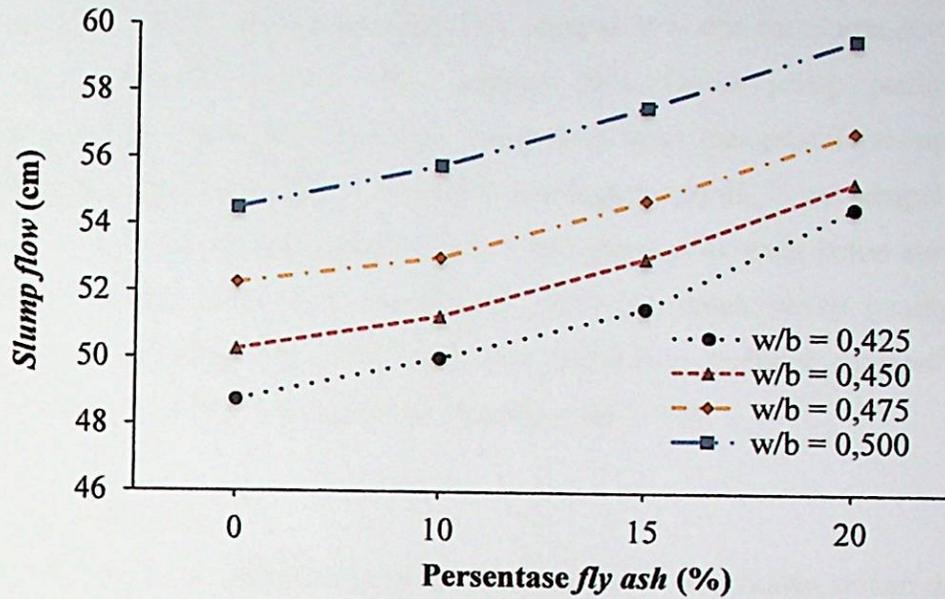
#### 4.1.2. *Setting Time*

*Setting time* dilakukan guna mengetahui waktu pengikatan semen dengan air pada saat campuran masih segar hingga mulai mengalami kekakuan sampai benar kaku. Hasil pengujian dan persentase perubahan *setting time* berdasarkan variasi  $w/b$  dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Tabel 4.3, sedangkan hasil pengujian dan persentase perubahan *setting time* berdasarkan persentase *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Tabel 4.4.

Nilai yang diperoleh pada pengujian *setting time* terdiri dari nilai *initial time* dan *final time*. *Initial time* yang dihasilkan berkisar antara 335 - 430 menit dan *final time* yang dihasilkan berkisar antara 720 - 815 menit.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada beton dengan substitusi *fly ash* 0% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 335 menit sampai 380 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 10% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 370 menit sampai 410 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 15% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 380 menit sampai 415 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 20% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b =$

yang baik dibandingkan semen. Hal ini menyebabkan setiap peningkatan persentase *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan *flowability* mortar.

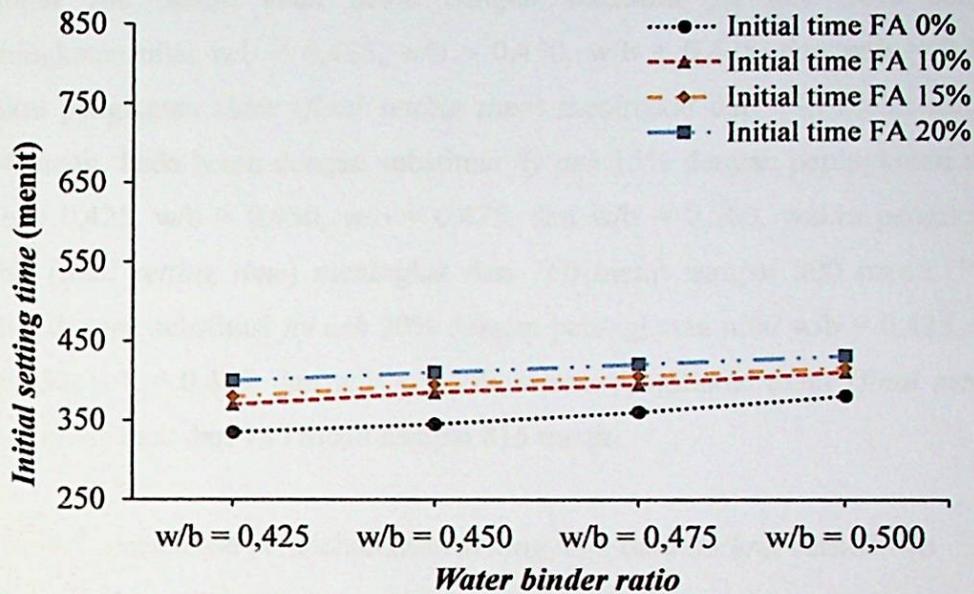


Gambar 4.2. Pengaruh persentase *fly ash* terhadap hasil *slump flow*

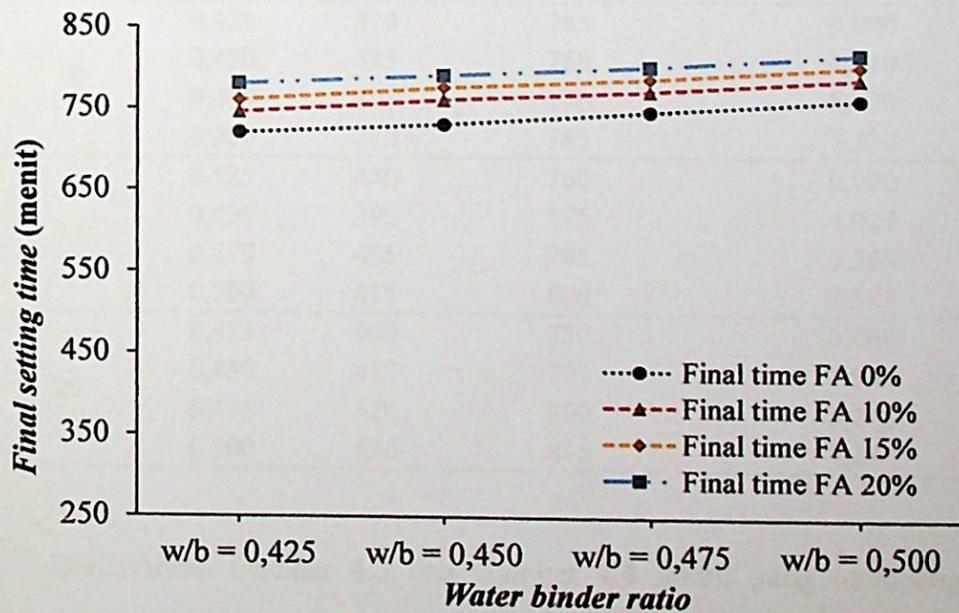
Tabel 4.2. Persentase perubahan *slump flow* berdasarkan persentase *fly ash*

w/b	Fly ash (%)	Slump flow (cm)	Persentase perubahan (%)
0,425	0	48,75	0,00
	10	50,25	3,08
	15	52,00	3,48
	20	54,50	4,81
0,450	0	50,00	0,00
	10	51,25	2,50
	15	53,00	3,41
	20	55,75	5,19
0,475	0	51,50	0,00
	10	53,00	2,91
	15	54,75	3,30
	20	57,00	4,11
0,500	0	53,75	0,00
	10	55,00	2,33
	15	56,75	3,18
	20	59,50	4,85

0,450,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 400 menit sampai 430 menit.



Gambar 4.3. Pengaruh *water binder ratio* terhadap hasil *initial setting time*



Gambar 4.4. Pengaruh *water binder ratio* terhadap hasil *final setting time*

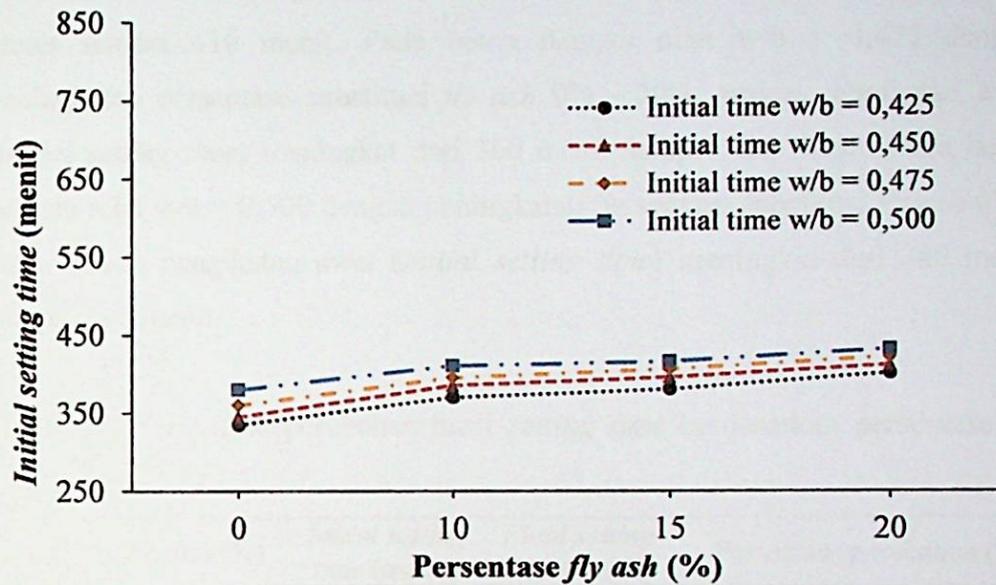
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada beton dengan substitusi *fly ash* 0% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 720 menit sampai 760 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 10% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 745 menit sampai 784 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 15% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 760 menit sampai 800 menit. Pada beton dengan substitusi *fly ash* 20% dengan peningkatan nilai  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 780 menit sampai 815 menit.

Tabel 4.3. Persentase perubahan hasil *setting time* berdasarkan variasi  $w/b$

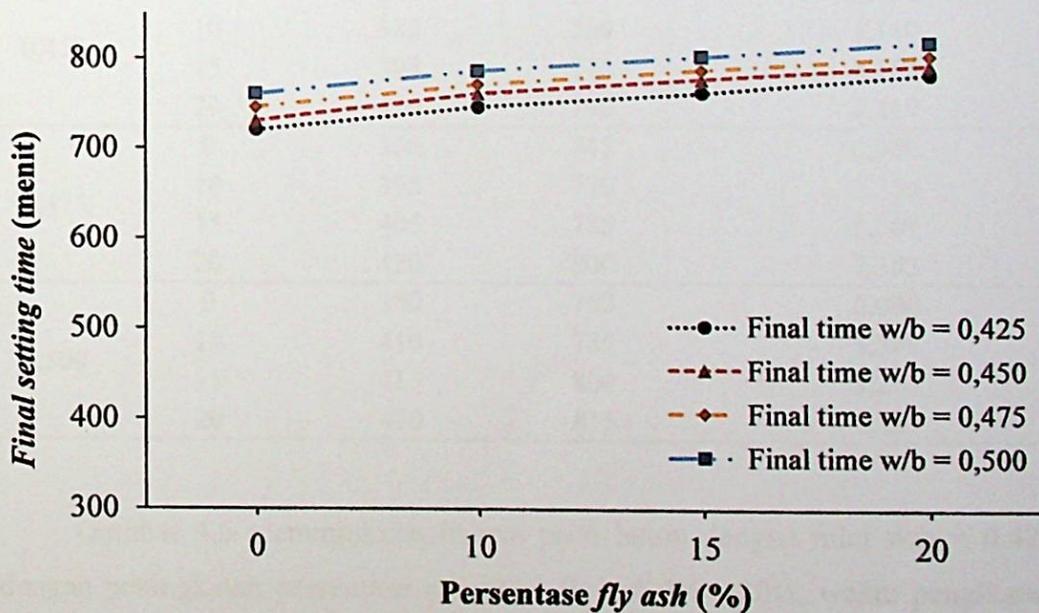
<i>Fly ash</i> (%)	$w/b$	<i>Initial setting time</i> (menit)	<i>Final setting time</i> (menit)	Persentase perubahan (%)
0	0,425	335	720	0,000
	0,450	345	730	1,389
	0,475	360	745	3,472
	0,500	380	760	5,556
10	0,425	370	745	0,000
	0,450	385	760	4,110
	0,475	395	770	5,479
	0,500	410	785	7,534
15	0,425	380	760	0,000
	0,450	395	775	4,027
	0,475	405	785	5,369
	0,500	415	800	7,383
20	0,425	400	780	0,000
	0,450	410	790	3,947
	0,475	420	800	5,263
	0,500	430	815	7,237

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 faktor yang mempengaruhi peningkatan waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir adalah jumlah air pada campuran yang dapat mengakibatkan proses hidrasi semen menjadi lebih lama, sehingga waktu pengerasan *foamed concrete* semakin lama. Berdasarkan

Tabel 4.3 menunjukkan persentase perubahan terbesar hasil pengujian *setting time* berdasarkan peningkatan nilai *w/b* terdapat pada beton dengan 10% substitusi *fly ash* dan *w/b* = 0,500, yaitu 7,534%



Gambar 4.5. Pengaruh persentase *fly ash* terhadap hasil *initial setting time*



Gambar 4.6. Pengaruh persentase *fly ash* terhadap hasil *final time*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada beton dengan nilai  $w/b = 0,425$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 335 menit sampai 400 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,450$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 345 menit sampai 410 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,475$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 360 menit sampai 420 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,500$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan awal (*initial setting time*) meningkat dari 380 menit sampai 430 menit.

Tabel 4.4. Persentase perubahan hasil *setting time* berdasarkan persentase *fly ash*

w/b	Fly ash (%)	Initial setting time (menit)	Final setting time (menit)	Persentase perubahan (%)
0,425	0	335	720	0,000
	10	370	745	3,472
	15	380	760	5,556
	20	400	780	8,333
0,450	0	345	730	0,000
	10	385	760	4,110
	15	395	775	6,164
	20	410	790	8,219
0,475	0	360	745	0,000
	10	395	770	3,356
	15	405	785	5,369
	20	420	800	7,383
0,500	0	380	760	0,000
	10	410	785	3,389
	15	415	800	5,263
	20	430	815	7,237

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada beton dengan nilai  $w/b = 0,425$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 720 menit sampai 780 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,450$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash*

0% - 20%, waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 730 menit sampai 790 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,475$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 745 menit sampai 800 menit. Pada beton dengan nilai  $w/b = 0,500$  dengan peningkatan persentase substitusi *fly ash* 0% - 20%, waktu pengikatan akhir (*final setting time*) meningkat dari 760 menit sampai 815 menit.

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi *fly ash* terhadap semen maka waktu pengikatan awal dan akhir yang dibutuhkan beton semakin lama. Hal ini disebabkan karena *fly ash* tidak menghasilkan reaksi hidrasi seperti semen apabila bercampur dengan air sehingga waktu pengerasan *foamed concrete* semakin lama. Berdasarkan Tabel 4.4 menunjukkan persentase perubahan terbesar hasil pengujian *setting time* berdasarkan persentase substitusi *fly ash* terdapat pada beton dengan 20% substitusi *fly ash* dan  $w/b = 0,425$ , yaitu 8,333%

#### 4.2. Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis beton dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian dan persentase perubahan berat jenis dengan variasi  $w/b$  dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.5.

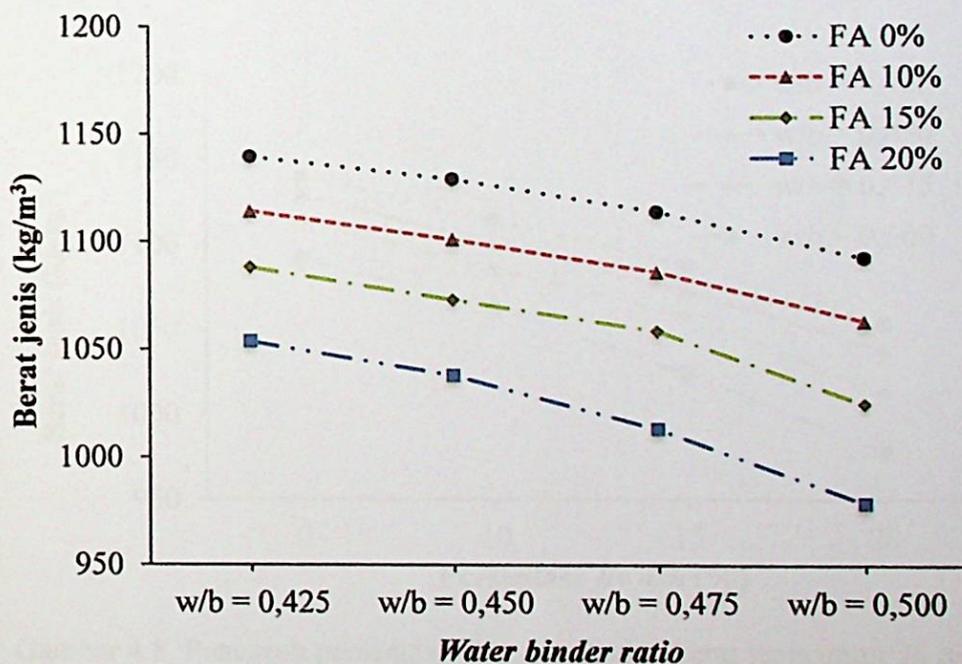
Pada Gambar 4.7 dapat dilihat pada beton dengan substitusi 0% *fly ash* dengan peningkatan variasi  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , setiap nilai  $w/b$  meningkat penurunan berat jenis tidak terlalu signifikan dari  $1.139,490 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.091,720 \text{ kg/m}^3$ . Pada beton dengan substitusi 10% *fly ash* dengan peningkatan variasi  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , dan  $w/b = 0,500$ , setiap nilai  $w/b$  meningkat penurunan berat jenis tidak terlalu signifikan dari  $1.114,013 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.062,420 \text{ kg/m}^3$ .

Pada beton dengan substitusi 15% *fly ash* dengan peningkatan variasi  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , setiap nilai  $w/b$  meningkat penurunan berat jenis tidak terlalu signifikan dari  $1.087,898 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.072,611 \text{ kg/m}^3$ ,

tetapi pada peningkatan nilai  $w/b = 0,475$  ke  $w/b = 0,500$  terjadi penurunan yang cukup signifikan dari  $1.057,962 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.024,204 \text{ kg/m}^3$ .

Pada beton dengan substitusi 20% *fly ash* dengan peningkatan variasi  $w/b = 0,425$ ,  $w/b = 0,450$ ,  $w/b = 0,475$ , setiap nilai  $w/b$  meningkat penurunan berat jenis tidak terlalu signifikan dari  $1.053,503 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1.037,580 \text{ kg/m}^3$  tetapi pada peningkatan nilai  $w/b = 0,475$  ke  $w/b = 0,500$  terjadi penurunan yang cukup signifikan dari  $1.012,739 \text{ kg/m}^3$  sampai  $978,344 \text{ kg/m}^3$ .

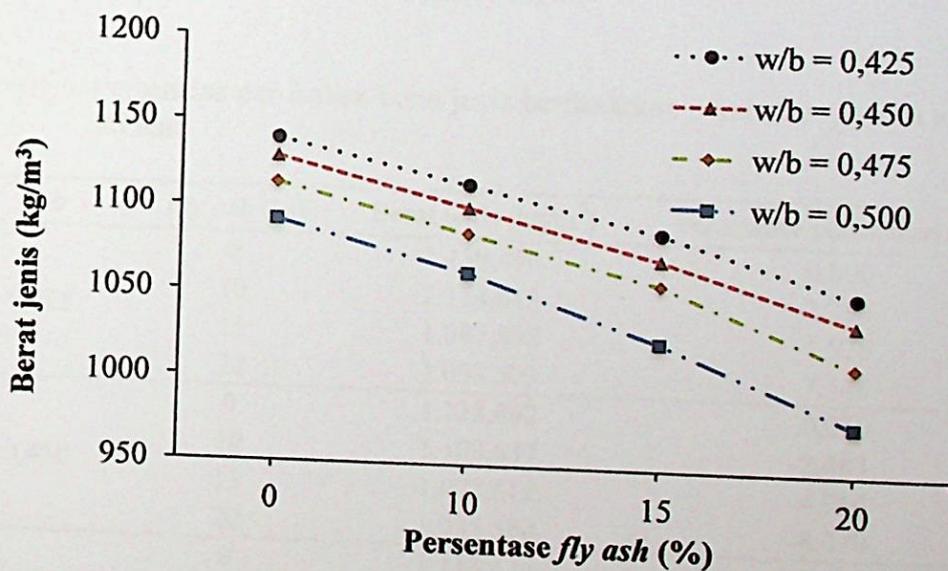
Berdasarkan Gambar 4.7 setiap peningkatan nilai  $w/b$  berat jenis beton mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan air dalam campuran beton sehingga mempengaruhi berat jenis beton tersebut. Berdasarkan Tabel 4.5. persentase perubahan terbesar berat jenis terbesar terdapat pada campuran dengan persentase *fly ash* sebesar 20% dan nilai  $w/b = 0,500$ , yaitu - 3,396%.



Gambar 4.7. Pengaruh variasi  $w/b$  terhadap berat jenis pada umur 28 hari

Tabel 4.5. Persentase perubahan berat jenis berdasarkan variasi w/b umur 28 hari

Fly ash (%)	w/b	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Persentase perubahan (%)
0	0,425	1.139,490	0,000
	0,450	1.128,662	-0,950
	0,475	1.113,376	-1,354
	0,500	1.091,720	-1,945
10	0,425	1.114,013	0,000
	0,450	1.100,637	-1,201
	0,475	1.085,350	-1,389
	0,500	1.062,420	-2,113
15	0,425	1.087,898	0,000
	0,450	1.072,611	-1,405
	0,475	1.057,962	-1,366
	0,500	1.024,204	-3,191
20	0,425	1.053,503	0,000
	0,450	1.037,580	-1,511
	0,475	1.012,739	-2,394
	0,500	978,344	-3,396

Gambar 4.8. Pengaruh persentase *fly ash* terhadap berat jenis umur 28 hari

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat pada beton dengan nilai w/b = 0,425 dengan peningkatan persentase substitusi 0% - 20% *fly ash*, setiap peningkatan persentase substitusi *fly ash* terjadi penurunan berat jenis dari 1.139,490 kg/m<sup>3</sup> sampai 1.053,503 kg/m<sup>3</sup>. Pada beton dengan nilai w/b = 0,450 dengan

peningkatan persentase substitusi 0% - 20% *fly ash*, setiap peningkatan persentase substitusi *fly ash* terjadi penurunan berat jenis dari 1.128,662 kg/m<sup>3</sup> sampai 1.037,580 kg/m<sup>3</sup>. Pada beton dengan nilai w/b = 0,475 dengan peningkatan persentase substitusi 0% - 20% *fly ash*, setiap peningkatan persentase substitusi *fly ash* terjadi penurunan berat jenis dari 1.113,376 kg/m<sup>3</sup> sampai 1.012,739 kg/m<sup>3</sup>. Pada beton dengan nilai w/b = 0,500 dengan peningkatan persentase substitusi 0% - 20% *fly ash*, setiap peningkatan persentase substitusi *fly ash* terjadi penurunan berat jenis dari 1.091,720 kg/m<sup>3</sup> sampai 978,344 kg/m<sup>3</sup>.

Berdasarkan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah substitusi *fly ash* dari 0% 10%, 15%, 20%, akan menghasilkan berat jenis yang semakin kecil, hal ini disebabkan berat jenis *fly ash* lebih ringan dibandingkan berat jenis semen sehingga peningkatan substitusi *fly ash* terhadap semen dapat mengurangi berat jenis beton. Berdasarkan Tabel 4.6 persentase perubahan terbesar berat jenis terbesar terdapat pada campuran dengan persentase *fly ash* sebesar 20% dan nilai w/b = 0,500, yaitu -10,385

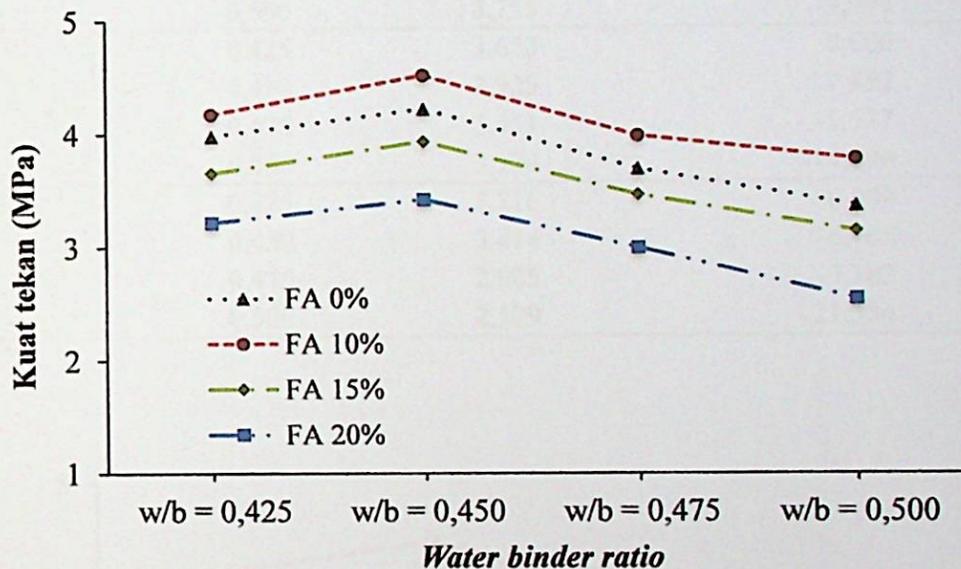
Tabel 4.6. Persentase perubahan berat jenis berdasarkan persentase *fly ash* umur 28 hari

w/b	<i>Fly ash</i> (%)	Berat jenis (kg/m <sup>3</sup> )	Persentase perubahan (%)
0,425	0	1.139,490	0,000
	10	1.114,013	-2,236
	15	1.087,898	-4,528
	20	1.053,503	-7,546
0,450	0	1.128,662	0,000
	10	1.100,637	-2,483
	15	1.072,611	-4,966
	20	1.037,580	-8,070
0,475	0	1.113,376	0,000
	10	1.085,350	-2,517
	15	1.057,962	-4,977
	20	1.012,739	-9,039
0,500	0	1.091,720	0,000
	10	1.062,420	-2,684
	15	1.024,204	-6,184
	20	978,344	-10,385

### 4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton umur 28. Nilai kuat tekan beton umur 28 hari didapat dari rata-rata nilai kuat tekan 5 benda uji silinder. Hasil pengujian dan persentase perubahan kuat tekan berdasarkan variasi w/b ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.7.

Berdasarkan Gambar 4.9 kuat tekan optimum pada beton umur 28 hari terdapat pada nilai w/b = 0,450 pada setiap persentase *fly ash* yaitu 0% = 4,128 MPa, 10% = 4,510 MPa, 15% = 3,925 MPa, 20% = 3,414 MPa dan kuat tekan terendah terdapat pada nilai w/b = 0,500 pada setiap persentase *fly ash* yaitu 0% = 3,350 MPa, 10% = 3,755 MPa, 15% = 3,124 MPa, 20% = 2,529 MPa.



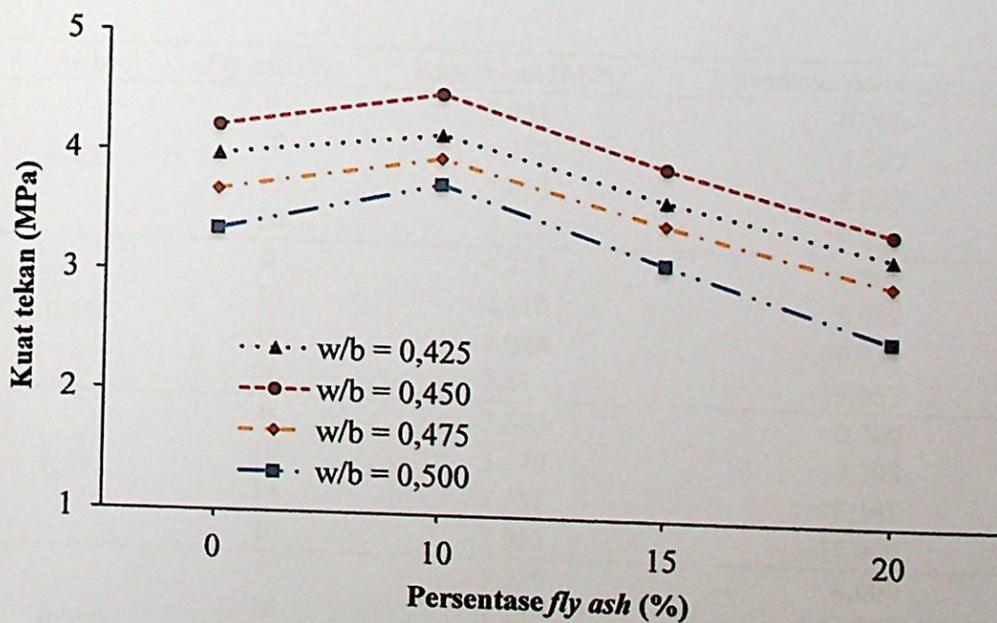
Gambar 4.9. Pengaruh variasi w/b terhadap kuat tekan umur 28 hari

Peningkatan kuat tekan terjadi dari nilai w/b = 0,425 ke w/b = 0,450, hal ini disebabkan oleh struktur pori yang terbentuk dengan baik karena kecepatan beton mengeras bersamaan kecepatan penyebaran *foam*, sehingga *foam* tersebar merata dalam campuran. Peningkatan nilai w/b = 0,450 ke w/b = 0,475 mengalami penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh kepadatan campuran mortar menurun akibat jumlah air pada campuran yang meningkat. Hal yang sama terjadi pada peningkatan nilai w/b = 0,475 ke w/b = 0,500. Berdasarkan Tabel 4.7, persentase perubahan kuat tekan berdasarkan nilai w/b terbesar

terdapat pada beton dengan  $w/b = 0,500$  dan persentase *fly ash* sebesar 20% yaitu -21,354%.

Tabel 4.7. Persentase perubahan kuat tekan berdasarkan variasi  $w/b$  umur 28 hari

<i>Fly ash</i> (%)	$w/b$	Kuat tekan (MPa)	Persentase perubahan (%)
0	0,425	3,981	0,000
	0,450	4,218	5,949
	0,475	3,683	-7,485
	0,500	3,350	-15,860
10	0,425	4,172	0,000
	0,450	4,510	8,092
	0,475	3,970	-4,841
	0,500	3,755	-9,994
15	0,425	3,653	0,000
	0,450	3,925	7,452
	0,475	3,451	-5,537
	0,500	3,124	-14,490
20	0,425	3,216	0,000
	0,450	3,414	6,168
	0,475	2,985	-7,182
	0,500	2,529	-21,354



Gambar 4.10. Pengaruh persentase *fly ash* terhadap kuat tekan umur 28 hari

Berdasarkan Gambar 4.10 kuat tekan optimum pada beton umur 28 hari terdapat pada nilai persentase *fly ash* 10% untuk setiap variasi w/b yaitu 0,425 = 4,172 MPa, 0,450 = 4,510 MPa, 0,475 = 3,970 MPa, 0,500 = 3,755 MPa dan kuat tekan terendah terdapat pada nilai persentase *fly ash* 20% untuk setiap variasi w/b yaitu 0,425 = 3,216 MPa, 0,450 = 3,414 MPa, 0,475 = 2,985 MPa, 0,500 = 2,529 MPa. Terjadi kenaikan nilai kuat tekan pada peningkatan persentase *fly ash* 0% ke 10% untuk setiap nilai w/b yaitu 0,425 dari 3,981 MPa ke 4,172 MPa, 0,450 dari 4,218 MPa ke 4,510 MPa, 0,475 dari 3,683 MPa ke 3,970 MPa, 0,500 dari 3,350 MPa ke 3,755 MPa, dan terjadi penurunan nilai kuat tekan pada peningkatan persentase *fly ash* 10% sampai 20% untuk setiap nilai w/b yaitu 0,425 dari 4,172 MPa sampai 3,216 MPa, 0,450 dari 4,510 MPa sampai 3,414 MPa, 0,475 dari 3,970 MPa sampai 2,985 MPa, 0,500 dari 3,755 MPa sampai 2,529 MPa. Dapat disimpulkan bahwa substitusi *fly ash* terhadap semen terdapat jumlah batasan maksimum 10% untuk menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Berdasarkan Tabel 4.8, persentase perubahan kuat tekan umur 28 hari terbesar terdapat pada persentase *fly ash* sebesar 20% dengan nilai w/b = 0,500 yaitu -24,449%.

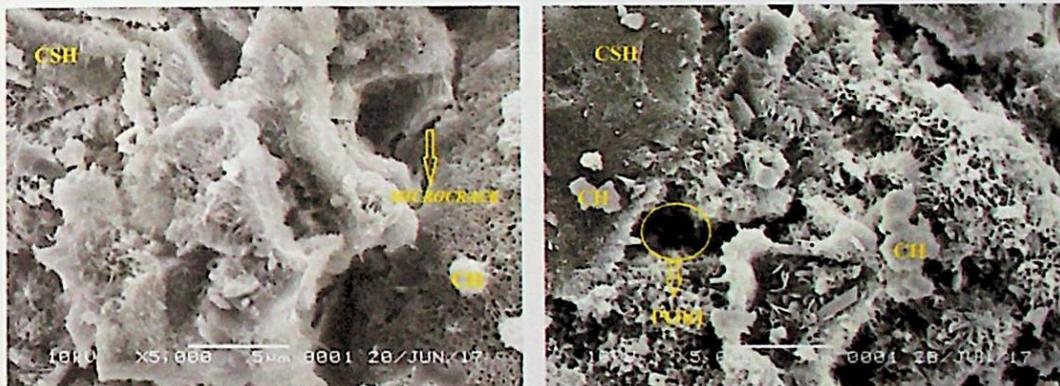
Tabel 4.8. Persentase perubahan kuat tekan berdasarkan persentase *fly ash* umur 28 hari

w/b	<i>Fly ash</i> (%)	Kuat tekan (MPa)	Persentase perubahan (%)
0,425	0	3,981	0,000
	10	4,172	4,797
	15	3,653	-8,233
	20	3,216	-19,224
0,450	0	4,218	0,000
	10	4,510	6,917
	15	3,925	-6,931
	20	3,414	-19,057
0,475	0	3,683	0,000
	10	3,970	7,793
	15	3,451	-6,301
	20	2,985	-18,960
0,500	0	3,350	0,000
	10	3,755	12,104
	15	3,124	-6,738
	20	2,529	-24,499

#### 4.4. Hasil Pengamatan Mikrostruktur Beton

Pengujian mikrostruktur yang dilakukan adalah pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy). Pengamatan visual SEM *foamed concrete* dilakukan pada foto SEM *foamed concrete* dengan perbesaran 5.000 x. Sampel untuk pengujian SEM didapat dari hasil pecahan pengujian kuat tekan beton umur 28 hari. Pengamatan visual foto SEM dilakukan pada *foamed concrete* dengan komposisi persentase substitusi 0%, 10% *fly ash* dan nilai w/b 0,425 – 0,500. Foto pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.11. – 4.14.

Gambar 4.11 (a) merupakan foto SEM FC-0-0,425, terdapat pori dengan ukuran 4,15  $\mu\text{m}$ , CSH yang terbentuk merupakan hasil reaksi hidrasi, terdapat banyak CH dan terdapat *microcrack* dengan ukuran 12.86  $\mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan ikatan yang lebih lemah pada daerah *interface zone*. Gambar 4.11 (b) merupakan foto SEM FC-10-0,425, terdapat pori dengan ukuran 5  $\mu\text{m}$ , CSH yang terbentuk terlihat lebih rapat dari pada beton tanpa substitusi *fly ash*.

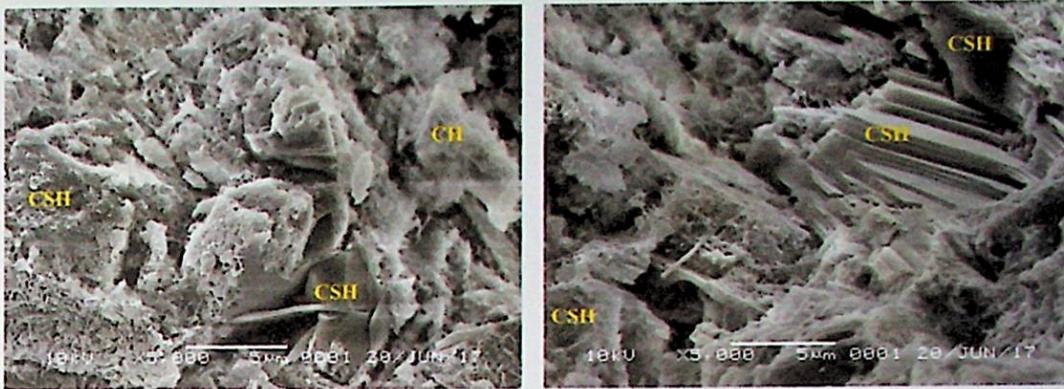


(a) FC-0-0,425

(b) FC-10-0,425

Gambar 4.11. Foto SEM *foamed concrete* w/b = 0,425

Gambar 4.12 (a) merupakan foto SEM FC-0-0,450, CSH terlihat sudah terbentuk dan terdapat banyak CH. Pori yang terbentuk sudah lebih sedikit. Gambar 4.12.(b) merupakan foto SEM FC-10-0,450. Pori tidak terlihat, CSH yang terbentuk sudah sangat rapat. Hal ini menunjukkan reaksi hidrasi sekunder antara CH dan silika *fly ash* berjalan dengan sempurna. CSH yang rapat menunjukkan kuat tekan beton yang tinggi, sesuai dengan data kuat tekan beton FC-10-0,45 memiliki kuat tekan tertinggi, yaitu 4,510 MPa.

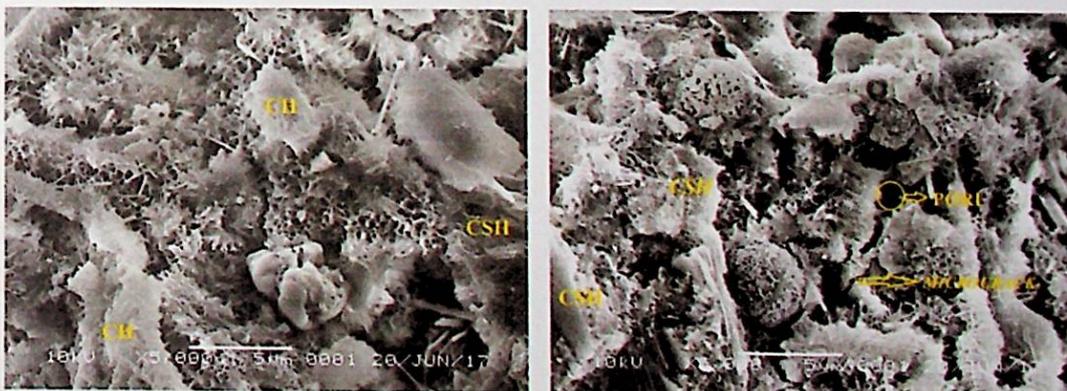


(a) FC-0-0,450

(b) FC-10-0,450

Gambar 4.12. Foto SEM *foamed concrete* w/b = 0,450

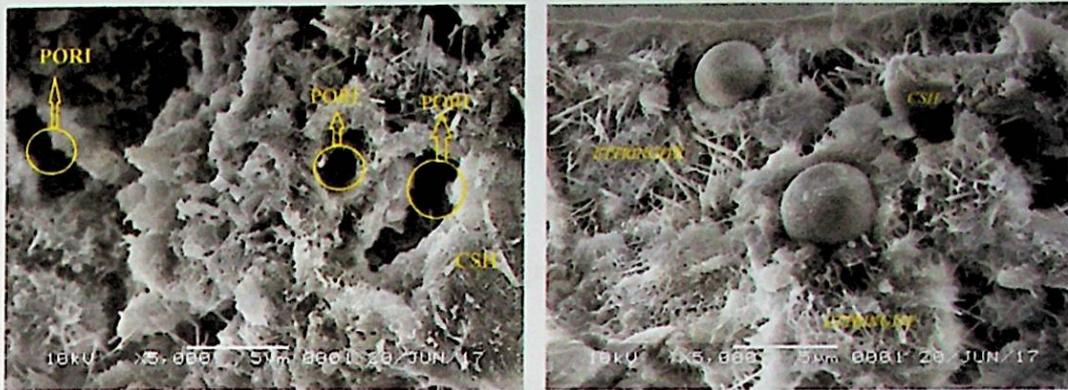
Gambar 4.13 (a) merupakan foto SEM FC-0-0,475, CSH terlihat sudah terbentuk tetapi kurang rapat hal ini mengakibatkan penurunan kuat tekan pada beton, terdapat banyak pori dengan ukuran dibawah  $1\ \mu\text{m}$  sehingga dapat mengurangi kuat tekan pada beton. Gambar 4.13 (b) merupakan foto SEM FC-10-0,475, CSH yang terbentuk kurang rapat, terdapat banyak pori dengan ukuran dibawah  $4\ \mu\text{m}$  dan terlihat *microcrack* dengan lebar lebih dari  $1\ \mu\text{m}$ . Hal ini menunjukkan ikatan yang lebih lemah pada daerah *interface zone*.



(a) FC-0-0,475

(b) FC-10-0,475

Gambar 4.13. Foto SEM *foamed concrete* w/b = 0,475



(a) FC-0-0,500

(b) FC-10-0,500

Gambar 4.14. Foto SEM foamed concrete w/b = 0,500

Gambar 4.14 (a) merupakan foto SEM FC-0-0,500, terlihat banyak pori dengan ukuran besar, menyebabkan penurunan kuat tekan dari 3,683 MPa menjadi 3,350 jika dibandingkan dengan beton FC-0-0,475. Hal ini disebabkan lambatnya reaksi pembentukan CSH karena peningkatan nilai w/b. Gambar 4.14 (b) merupakan foto SEM FC-10-0,500, CSH yang terbentuk kurang rapat, terdapat sisa fly ash yang tidak terhidrasi, terdapat banyak *ettringite* yang dapat menyebabkan pengembangan volume beton sehingga beton pecah.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian mikrostruktur *foamed concrete*, peningkatan nilai w/b mempengaruhi struktur CSH pada beton, semakin tinggi nilai w/b maka CSH yang dihasilkan menjadi kurang padat, Pengaruh lainnya ukuran diameter pori meningkat setiap peningkatan nilai w/b.
2. Hasil dari pengujian mikrostruktur *foamed concrete*, substitusi 10% *fly ash* terhadap semen memberikan struktur CSH yang paling padat, jumlah pori yang paling minimum, dan diameter pori terkecil dibandingkan dengan persentase substitusi *fly ash* lainnya.

#### **5.2. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut dengan variasi nilai w/b pada interval yang lebih rapat antara 0,425 sampai 0,450.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut dengan variasi substitusi persentase *fly ash* pada interval yang lebih rapat antara 0% sampai 15%.
3. Perlu dilakukan pengambilan foto SEM dalam umur, jumlah, dan perbesaran yang lebih bervariasi untuk mempertajam pembahasan mengenai mikrostruktur beton.

- ASTM C 566, 2013. *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM D 2419, 2014. *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 40, 2011. *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregate for Concrete*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- ASTM C 128, 2015. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, Annual Books of ASTM Standards. USA: Association of Standard Testing Materials.
- Awang, H., and Ahmad, M. H., 2013. Mechanical and Durability Properties of Fibre Lightweight Foamed Concrete. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(7): 14-21
- Awang, H., Othuman, M. A., and Roslan, A. F., 2012. Effect of Additive on Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Foamed Concrete. *Advances in Applied Science Research*. 3(5): 3326-3338
- Awang, H., Othuman, M. A., and Roslan, A. F., 2012. Microstructural Investigation of Lightweight Foamed Concrete Incorporating. *International Journal of Academia Research*. 4(2).
- Hamad, A. J., 2014. Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete. *International Journal of Materials Science and Engineering*. 2(2): 152-157
- Hilal, A. A., 2015. *Properties and microstructural of pre-formed Foamed Concrete*. PhD thesis, University of Nottingham.
- Jalal, M. D., Tanveer, A., Jagdeesh, K., and Ahmed, F., 2017. Foam Concrete. *International Journal of Civil Engineering Research*. 8(1): 1-14
- Jing, Z., and Xiangdong, L., 2014. Effect of Rare Earth Ce<sup>+</sup> Content on The Properties and Form Mechanism of Foamed Concrete. *Bio Technology An Indian Journal*. 10(24): 15572-15582.
- Jones, M. R., 2013. Behaviour of PC/CSA/FA Blends in Foamed Concrete. University of Dundee, Concrete Technology Unit, Division of Civil Engineering, Boral Material, St Antonio, Tx.
- Khalid, A., 2011. *Mechanical And Physical Properties of Fly Ash Foamed Concrete*. Masters thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.

- Liu, Z., Zhao, K., Hu, C., and Tang, Y., 2016. Effect of Water-Cement Ratio on Pore Structure and Strength of Foamed Concrete. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2016.
- Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete (Microstructure, Properties, and Materials). *Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley*. 3.
- Narayanan, N., and Ramamurthy, K., 2008. Fresh State Characteristics of Foamed Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 20(2): 111.
- Onprom, P., Chaimoon, K., and Cheerarot, R., 2015. Influence of Bottom Ash Replacement as Fine Aggregate on the Property of Cellular Concrete with Various Foam Content. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*. 1.
- Tan, X., Chen, W., Hao, Y., and Wang, X., 2014. Experimental Study of Ultralight ( $<300 \text{ kg/m}^3$ ) Foamed Concrete. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*. 1.
- Thakrele, M. H., 2014. Experimental Study of Foamed Concrete. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development*. 4(1): 145-158.
- Tim Unsri, 2013. *Pedoman Umum Penulisan Karya Tulis Ilmiah*. Universitas Sriwijaya
- Yerramala, A., Chandurdu, R., and Desai, B., 2012. Influence of Fly Ash Replacement on Strength Properties of Cement Mortar. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 4(8): 3657-3665.