



TESIS - RC142501

PENGARUH PENGGUNAAN *ARTIFICIAL LIGHT WEIGHT AGGREGATE (ALWA)* BERBAHAN DASAR *STYROFOAM* TERHADAP KUAT TEKAN *SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)*

DHIAFAH HERA DARAYANI
03111650020002

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA

PROGRAM MAGISTER
DEPARTMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

PENGARUH PENGGUNAAN *ARTIFICIAL LIGHT WEIGHT AGGREGATE* (ALWA) BERBAHAN DASAR *STYROFOAM* TERHADAP KUAT TEKAN *SELF COMPACTING CONCRETE* (SCC)

DHIAFAH HERA DARAYANI
03111650020002

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA

PROGRAM MAGISTER
DEPARTMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - RC142501

**THE EFFECT OF ARTIFICIAL LIGHT WEIGHT
AGGREGATE (ALWA) USING STYROFOAM ON THE
COMPRESSIVE STRENGTH OF SELF COMPACTING
CONCRETE (SCC)**

DHIAFAH HERA DARAYANI
03111650020002

LECTURER :
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND GEO ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

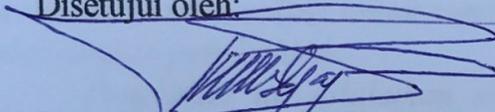
Dhiafah Hera Darayani

NRP. 03111650020002

Tanggal Ujian : 20 April 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:


1. **Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.**

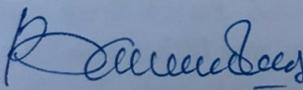
(Pembimbing I)

NIP. 197003271997021001


2. **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.**

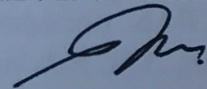
(Pembimbing II)

NIP. 195004031976031003


3. **Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.**

(Penguji)

NIP. 198403182008121002


4. **Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.**

(Penguji)

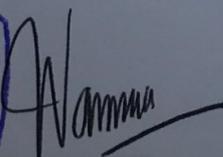
NIP. 198004302005011002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan


IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 19750212 199903 2001

**Pengaruh Penggunaan *Artificial Light Weight Aggregate* (ALWA)
berbahan *Styrofoam* terhadap Kuat Tekan *Self Compacting
Concrete* (SCC)**

Nama : Dhiifah Hera Darayani
NRP : 03111650020002
Pembimbing : Prof. TAVIO, S.T., M.T., Ph.D
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA

ABSTRAK

Self Compacting Concrete (SCC) adalah beton segar yang mampu mengalir mengisi bekisting dengan sendirinya tanpa memerlukan alat penggetar. Salah satu penyebab kerusakan bangunan saat terjadi gempa bumi yaitu berat sendiri struktur. Agregat ringan merupakan salah satu cara untuk mereduksi berat struktur, oleh karena itu self compacting concrete beragregat ALWA merupakan suatu solusi untuk mereduksi beban mati struktur dengan kemudahan pelaksanaan pengerjaan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada masing-masing variasi komposisi ALWA sebagai pengganti agregat kasar pada Beton Normal dan SCC. Proporsi ALWA yang disubstitusi ke dalam beton yaitu 0%, 15%, 50% dan 100%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 200 mm dan diameter 100 mm untuk pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah. Sedangkan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm untuk pengujian kuat lentur.

Hasil dari pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa semakin tinggi variasi komposisi ALWA maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Penambahan ALWA sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton normal dan SCC paling efektif terjadi pada kadar 15% ALWA dengan kuat tekan pada beton normal dan SCC yang dihasilkan sebesar 21.13 MPa dan 28.33 MPa. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas pada beton normal yaitu 20843.99 MPa dan modulus elastisitas SCC sebesar 23717.77 MPa. Kuat tarik belah beton normal adalah 2.23 MPa dan SCC adalah 2.32 MPa. Nilai modulus runtuh dari beton memadat sendiri (SCC) dengan kadar 15% ALWA yaitu sebesar 5.029 MPa.

Kata kunci: Self Compacting Concrete, Styrofoam, Artificial Light Weight Aggregate, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Kuat Tarik Belah, Kuat Tarik Lentur

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

The Effect Of Artificial Light Weight Aggregate (ALWA) using Styrofoam on the Compressive Strength of Self Compacting Concrete (SCC)

Name : Dhiafah Hera Darayani
NRP : 03111650020002
Supervisor : Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D
Co-Supervisor : Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA

ABSTRACT

Self Compacting Concrete (SCC) is a fresh concrete that can flow filling the formwork by itself without need the vibrator. One of the causes of damage to buildings during an earthquake is its own weight structure. Lightweight aggregate is one manner to reduce weight of the structure, therefore self compacting concrete with ALWA aggregate is a solution to reduce dead load structure with ease of processing.

This research was conducted to find out how big compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength and flexural strength in each variation of ALWA composition as a substitute of coarse aggregate on regular concrete and SCC. The proportion of ALWA substituted into the concrete is 0%, 15%, 50% and 100%. The test specimens used are cylindrical in size 200 mm and diameter 100 mm for testing of compressive strength, modulus of elasticity and tensile strength. While the specimens beam with the size of 150 mm x 150 mm x 600 mm for testing of flexural strength.

The results of the compressive strength test show that the higher composition of ALWA the lower compressive strength. The addition of ALWA as a substitute of coarse aggregate to regular concrete and SCC most effective occurred at 15% ALWA with compressive strength on regular concrete and SCC is 21.13 MPa and 28.33 MPa. While the modulus of elasticity value in regular concrete is 20843.99 MPa and modulus of elasticity in SCC is 23717.77 MPa. The tensile strength of regular concrete is 2.23 MPa and SCC is 2.32 MPa. The modulus rupture of Self Compacting Concrete (SCC) with 15% ALWA is 5.029 MPa.

Keywords: Self Compacting Concrete, Styrofoam, Artificial Light Weight Aggregate, Compressive Strength, Modulus of Elasticity, Tensile Strength, Flexural Strength

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT. atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “**Pengaruh Penggunaan *Artificial Light Weight Aggregate (ALWA)* berbahan dasar *Styrofoam* terhadap Kuat Tekan *Self Compacting Concrete (SCC)*””. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu atas terselesaikannya Tesis ini, yaitu:**

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan anugerah-Nya.
2. Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tesis ini.
3. Prof. Dr. Ir. I. G. P. Raka, DEA selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tesis ini.
4. Dosen-Dosen bidang Struktur yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.
5. Kedua orang tua tersayang atas do’a, dukungan, serta celotehan yang tak henti-hentinya dari pagi hingga malam.
6. Meity Wulandari dan Fedya Diajeng Aryani yang telah membantu memberikan tenaga dan pikiran dalam tesis ini.

Dalam pembuatan Tesis ini, penulis menyadari bahwa Tesis yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Untuk itu penulis harapkan segala saran dan kritik dari pembaca untuk menyempurnakan isi dari laporan Tesis ini.

Surabaya, Mei 2018

(Dhiafah Hera Darayani)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Beton Ringan.....	7
2.2 <i>Artificial Light Weight Aggregate (ALWA)</i>	7
2.3 Aseton.....	8
2.4 <i>Styrofoam</i>	8
2.5 Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete).....	9
2.6 Bahan Tambah (Admixture)	9
2.7 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian.....	10
BAB 3 METODE PENELITIAN	11
3.1 Umum	15
3.2 Studi Literatur	17
3.3 Pembuatan ALWA (Artificial Lightweight Aggregate).....	17
3.4 Persiapan Material.....	18
3.4.1 Semen.....	18
3.4.2 Agregat Kasar	18
3.4.3 Agregat Halus.....	19
3.4.4 Air	20
3.4.5 <i>Superplasticizer</i>	20

3.5	Pengujian Material.....	20
3.5.1	Agregat Kasar	20
3.5.2	Agregat Halus	23
3.6	Kebutuhan Benda Uji.....	25
3.7	Membuat <i>Mix Design</i>	26
3.7.1	<i>Mix Design</i> Beton Normal.....	26
3.7.2	<i>Mix Design</i> Beton Memadat Sendiri (SCC)	26
3.8	Pengujian <i>Slump</i> Beton Segar	27
3.8.1	<i>Slump Flow</i> dan <i>T₅₀₀ Slump Time Test</i>	27
3.8.2	<i>V-funnel Test</i>	28
3.8.3	<i>L-box Test</i>	29
3.8.4	<i>Sieve Segregation Resistance Test</i>	29
3.9	Proses Pembuatan Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC)	30
3.10	Perawatan benda Uji	30
3.11	Pengujian Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC).....	31
3.11.1	Uji Kekuatan Tekan Silinder Beton	31
3.11.2	Modulus Elastisitas	32
3.11.3	Uji Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton	32
3.11.4	Uji Kekuatan Lentur Balok Beton	33
	BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Umum	35
4.2	Hasil Analisa Material	35
4.2.1	Agregat Kasar	35
4.2.2	Agregat Halus	41
4.3	Hasil Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	46
4.4	Hasil Pengujian <i>Slump</i> Beton Segar	46
4.4.1	<i>Slump Flow</i> dan <i>T₅₀₀ Slump Time Test</i>	46
4.5	Berat Volume Silinder Beton.....	49
4.6	Hasil Pengujian Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC).....	51
4.6.1	Kekuatan Tekan Silinder Beton	51
4.6.1.1	Beton Normal.....	51
4.6.1.2	Beton Memadat Sendiri (SCC)	53
4.6.2	Modulus Elastisitas Silinder Beton	56

4.6.3	Hubungan Tegangan dan Regangan.....	58
4.6.4	Formula Tegangan Regangan	61
4.6.5	Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton	64
4.6.6	Kekuatan Lentur Balok Beton	67
4.6.7	Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		73

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	16
Gambar 3.2	ALWA sebelum dan sesudah dilapisi mortar	17
Gambar 3.3	Semen Gresik	18
Gambar 3.4	<i>Artificial Lightweight Aggregate (ALWA)</i>	19
Gambar 3.5	Batu Pecah	19
Gambar 3.6	Agregat Halus	19
Gambar 3.7	<i>Superplasticizer Sika ViscoFlow®-3217</i>	20
Gambar 3.8	<i>Baseplate</i> (EFNARC, 2005)	28
Gambar 3.9	<i>V funnel</i> (EFNARC, 2005)	28
Gambar 3.10	<i>L-box</i> (EFNARC, 2005)	29
Gambar 4.1	Grafik gradasi batu pecah ukuran maksimum 20 mm	38
Gambar 4.2	Grafik gradasi pasir zona 2	43
Gambar 4.3	Hasil warna sesuai <i>organic plate</i>	45
Gambar 4.4	<i>Slump flow SCC</i>	48
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara berat volume beton normal dan SCC dengan variasi penambahan ALWA	50
Gambar 4.6	Pola retak <i>columnar</i> benda uji C0-5	52
Gambar 4.7	Grafik kebutuhan ALWA untuk kekuatan tekan 20 MPa dan 17 MPa pada beton normal	52
Gambar 4.8	Pola retak <i>columnar</i> benda uji SCC0-6	55
Gambar 4.9	Grafik kebutuhan ALWA untuk kekuatan tekan 20 MPa dan 17 MPa pada SCC	55
Gambar 4.10	Grafik korelasi antara modulus elastisitas dengan penambahan ALWA pada beton normal dan SCC	57
Gambar 4.11	Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f _c dan 0.5f _c pada beton normal	59
Gambar 4.12	Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, 0.85f _c dan 0.5f _c pada beton SCC	60
Gambar 4.13	Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SSC	62

Gambar 4.14	Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal	63
Gambar 4.15	Grafik hubungan antara kekuatan tarik belah beton normal dengan variasi penambahan <i>styrofoam</i>	65
Gambar 4.16	Grafik hubungan antara kekuatan tarik belah SCC dengan variasi penambahan <i>styrofoam</i>	66
Gambar 4.17	Tampak visual ALWA setelah uji tarik belah	66
Gambar 4.18	Grafik hubungan antara beban dan lendutan balok.....	67
Gambar 4.19	Hasil pengujian kekuatan lentur balok	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil penelitian terdahulu	10
Tabel 2.2	Hasil penelitian	14
Tabel 3.1	Jumlah kebutuhan benda uji	25
Tabel 3.2	Komposisi <i>mix design</i> EFNARC	27
Tabel 4.1	Berat volume batu pecah	35
Tabel 4.2	Berat volume ALWA	36
Tabel 4.3	Berat jenis batu pecah	36
Tabel 4.4	Berat jenis ALWA	37
Tabel 4.5	Penyerapan air batu pecah	37
Tabel 4.6	Gradasi batu pecah	38
Tabel 4.7	Kebersihan batu pecah terhadap lumpur	39
Tabel 4.8	Kelembapan batu pecah.....	39
Tabel 4.9	Ketahanan aus batu pecah.....	40
Tabel 4.10	<i>Impact</i> batu pecah	40
Tabel 4.11	<i>Impact</i> ALWA	40
Tabel 4.12	Berat volume pasir	41
Tabel 4.13	Berat jenis pasir.....	42
Tabel 4.14	Penyerapan air pada pasir	42
Tabel 4.15	Gradasi pasir	43
Tabel 4.16	Kandungan lumpur pasir	44
Tabel 4.17	Kelembapan pasir.....	44
Tabel 4.18	Kebersihan pasir terhadap bahan organik.....	45
Tabel 4.19	<i>Mix design</i> beton normal per m ³	46
Tabel 4.20	<i>Mix design</i> beton memadat sendiri (SCC) per m ³	46
Tabel 4.21	Hasil uji <i>slump</i> beton normal.....	47
Tabel 4.22	Hasil uji <i>flow</i> SCC.....	47
Tabel 4.23	Hasil uji <i>V-funnel</i> , <i>L-box</i> dan <i>Segregation Resistance</i>	48
Tabel 4.24	Berat volume beton normal dan SCC.....	49
Tabel 4.25	Hasil pengujian kekuatan tekan beton normal.....	51
Tabel 4.26	Hasil pengujian kekuatan tekan SCC	54
Tabel 4.27	Hasil pengujian modulus elastisitas beton normal.....	56

Tabel 4.28	Hasil pengujian modulus elastisitas SCC	57
Tabel 4.29	Nilai modulus elastisitas Eksperimental dan Teoritis	58
Tabel 4.30	Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton normal	59
Tabel 4.31	Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton SCC.....	60
Tabel 4.32	Nilai n pada beton normal dan SCC.....	62
Tabel 4.33	Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton normal.....	64
Tabel 4.34	Hasil pengujian kekuatan tarik belah SCC	65
Tabel 4.35	Hasil perhitungan modulus runtuh	67
Tabel 4.36	Hasil perbandingan analisa secara teoritis dan eksperimen.....	68
Tabel 4.37	Anggaran biaya kebutuhan beton normal per m^3	69
Tabel 4.38	Anggaran biaya kebutuhan SCC per m^3	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan, dimana kerusakan akibat gempa bumi berbanding lurus dengan berat bangunannya (Ernawati Sri S. dan Taufiq Lilo Adi S., 2014). Beton ringan digunakan sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi berat sendiri struktur sehingga struktur bangunan dapat terhindar dari kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi. Kebutuhan beton ringan meningkat dengan cepat dalam berbagai aplikasi teknologi konstruksi modern. Hal ini disebabkan karena berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan teknologi beton ringan, diantaranya berat jenis beton yang lebih kecil mengakibatkan berat sendiri elemen struktur dapat berkurang. (Aris Sutrisno Slamet Widodo, 2013).

Penggunaan *styrofoam* pada beton ringan sudah mulai merambah pada penggunaan yang bersifat struktural, misalnya untuk kolom, balok maupun pelat (Ernawati Sri S dan Taufiq Lilo Adi S., 2014). Dimana syarat untuk beton ringan struktural tidak boleh melampaui berat maksimum beton 1840 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural. Kuat tekan minimum struktur bangunan tahan gempa tidak boleh kurang dari 20 MPa (SNI 2847:2013).

Dalam pekerjaan konstruksi beton, terutama konstruksi beton bertulang konvensional, salah satu pekerjaan yang mutlak untuk dikerjakan adalah pemadatan atau vibrasi beton. Tujuan dari pemadatan itu sendiri untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar (fresh concrete) agar diperoleh beton yang homogen dan tidak terdapat rongga di dalam beton (honey-comb). Beton bertulang yang tidak sempurna pematatannya dapat menurunkan kuat tekan dan kedap-airan beton tersebut sehingga dapat mengakibatkan terjadinya karat pada besi tulangan. Salah satu solusi dalam menghadapi permasalahan tersebut yaitu dengan penggunaan beton memadat

sendiri yang biasa disebut dengan *Self Compacting Concrete* (SCC) atau disebut juga beton alir (Mariani, dkk., 2009).

Beton dengan agregat ringan adalah solusi yang sangat baik untuk mengurangi beban mati struktur, sedangkan beton memadat sendiri mampu mengalir dengan sendirinya. Kombinasi antara beton beragregat ringan dan beton memadat sendiri memberikan keuntungan dari segi biaya dan waktu pengerjaan konstruksi, karena biaya menjadi lebih efisien dan dapat mereduksi waktu pengerjaan (Behnam Vakhshouri dan Shami Nejadi, 2016).

Reni Suryanita, dkk (2014) pada penelitiannya mengkaji pengaruh variasi penambahan *styrofoam* terhadap karakteristik kuat lentur beton ringan dengan memanfaatkan kembali limbah *styrofoam* bahan pelindung kemasan elektronik yang dibentuk berupa butiran dengan ukuran 1 cm. Variasi penambahan *styrofoam* yang digunakan adalah 0%, 4%, 8%, dan 12% terhadap volume benda uji dengan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 15cm x 15cm x 60cm yang berjumlah 15 benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 28 hari dengan variasi penambahan *styrofoam* mulai dari 0% sampai 12%, kuat lentur beton mengalami penurunan kekuatan. Nilai kuat lentur beton tertinggi diperoleh pada saat beton tanpa penambahan *styrofoam* (0%) yaitu sebesar 4,1198 MPa. Nilai kuat lentur beton terendah diperoleh pada saat penambahan *styrofoam* 12% yaitu 3,1785 MPa. Dengan demikian penambahan *styrofoam* pada campuran beton dapat menurunkan berat satuan beton, sehingga beton menjadi lebih ringan namun juga dapat menurunkan kuat lentur beton ringan tersebut.

Nenni Simamora dan Mukti Hamza Harahap (2015) meninjau pengaruh penambahan *styrofoam* dengan pelarut toluena terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton ringan. Campuran beton yang digunakan mengacu pada beton mutu rendah K175 dengan perbandingan semen : pasir : kerikil adalah 1 : 2 : 3 dan FAS 0,5. Pada penelitian ini variasi komposisi *styrofoam* sebesar 0%, 12%, 14%, 16%, 18% dan 20% dengan pelarut toluena dari berat kerikil yang digunakan. Dari hasil pengujian diperoleh kuat tekan beton minimum terjadi pada penambahan *styrofoam* 20% dengan pelarut Toluena

yaitu sebesar 16,6 MPa, sedangkan kuat tekan beton maksimum terjadi pada penambahan *styrofoam* 12% dengan pelarut Toluena yaitu sebesar 23,1 MPa.

Pengujian yang dilakukan oleh Budhianto (1997) mengenai penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat kasar terhadap sifat fisik dan mekanik pada beton ringan diperoleh hasil yang paling optimum yaitu pada kadar *styrofoam* 12.5%.

Papanicolaou Catherine dan Michael I. Kaffetzakis (2011) meneliti tentang aplikasi penggunaan batu apung pada *Lightweight Aggregate Self-Compacting Concrete*. Hasil eksperimen untuk kinerja batu apung pada beton segar SCC dan keadaan mengeras yaitu kemampuan dari proporsional pasta semen dapat mempertahankan suspensi agregat ringan selama aliran dan mampu mencegah naiknya batu apung ke permukaan.

Berdasarkan penelitian-penelitian beton ringan beragregat kasar *styrofoam* yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diketahui bahwa mutu beton turun seiring dengan penambahan persentase *styrofoam* yang langsung digunakan sebagai agregat kasar, hal ini diakibatkan oleh *styrofoam* sebagai bahan dasar penyusun beton terlalu lemah (Ida Bagus Dharma Giri, dkk, 2008). Sehingga pada penelitian ini agregat kasar yang terbuat dari *styrofoam* akan dilarutkan terlebih dahulu menggunakan aseton kemudian dibentuk menjadi butiran sehingga menyerupai kerikil. Dikarenakan penggunaan *styrofoam* yang dilarutkan kemudian dibentuk menyerupai agregat kasar merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi kuat tekan pada beton, hal ini menjadi alasan untuk mengembangkan penelitian mengenai Pengaruh Penggunaan *Artificial Light Weight Aggregate* (ALWA) berbahan *Styrofoam* terhadap Kuat Tekan *Self Compacting Concrete* (SCC). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan yang dapat dihasilkan dengan penggantian agregat kasar dari ALWA yang terbuat dari *styrofoam*, dengan pertimbangan dapat menjadikan beton lebih ringan namun memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang bekerja.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Berapa besar kekuatan tekan dan modulus elastisitas pada masing-masing variasi komposisi ALWA sebagai pengganti agregat kasar pada Beton Normal dan SCC ?
2. Bagaimana pengaruh penggantian agregat kasar dengan ALWA berbahan dasar *styrofoam* terhadap kekuatan tarik belah beton ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan ALWA berbahan dasar *styrofoam* terhadap kekuatan lentur beton ?
4. Berapa komposisi campuran yang paling optimum pada Beton Normal dan SCC ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui berapa besar kekuatan tekan dan modulus elastisitas pada masing-masing variasi komposisi ALWA sebagai pengganti agregat kasar pada Beton Normal dan SCC.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggantian agregat kasar dengan ALWA berbahan dasar *styrofoam* terhadap kekuatan tarik belah beton.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan ALWA berbahan dasar *styrofoam* terhadap kekuatan lentur beton.
4. Untuk mengetahui berapa komposisi campuran yang paling optimum pada Beton Normal dan SCC.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Dengan penggantian agregat kasar dari ALWA pada beton ringan maka berat sendiri elemen struktur dapat berkurang.
2. Dengan pemanfaatan limbah *styrofoam* pada pembuatan ALWA maka limbah menjadi berkurang.

3. Sebagai referensi pada penelitian yang berkaitan dengan penggunaan ALWA pada beton ringan.

1.5 Batasan Masalah

1. Agregat yang digunakan terbuat dari *styrofoam* yang berasal dari limbah.
2. Jenis pelarut *styrofoam* yang digunakan adalah aseton.
3. Semen yang digunakan yaitu Semen Portland Tipe I dengan merk Semen Gresik.
4. Benda uji berupa silinder dengan ukuran 10 x 20 cm.
5. *Superplasticizer* yang digunakan berasal dari PT. Sika Indonesia.
6. Mutu beton direncanakan sebesar 25 MPa.
7. Variasi ALWA dalam campuran beton yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100% dari volume agregat kasar.
8. Pengujian kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah, dan kekuatan lentur dilakukan pada umur 28 hari.
9. Komposisi campuran untuk pengujian kekuatan lentur diambil dari hasil uji kekuatan tekan yang paling optimum.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Ringan

Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat ringan halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat maksimum beton 1840 kg/m^3 dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural. SNI 3402:2008

Beton ringan dikenal dengan kinerja dan daya tahan yang baik. Dalam aplikasi struktural, berat sendiri struktur beton sangatlah penting karena merupakan bagian yang besar dari total beban, pengurangan berat sendiri oleh beton ringan akan mengurangi beban gravitasi dan massa inersia seismik, sehingga mengurangi ukuran pondasi. Maghsoudi A.A., dkk. (2011). Beton agregat ringan memiliki keunggulan kapasitas regangan yang lebih baik, koefisien ekspansi termal yang lebih rendah, dan karakteristik isolasi suara yang lebih baik karena adanya rongga udara yang ada di agregat ringan. Vivek dan Bhavana B. (2015).

2.2 Artificial Light Weight Aggregate (ALWA)

Menurut SNI 03-2461-2002 agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan atau memanaskan bahan-bahan, seperti terak dan peleburan besi, tanah liat diatome, abu terbang, tanah serpih, batu tulis dan lempung. Beton yang menggunakan agregat buatan yang ringan (artificial lightweight aggregates) dipakai sebagai bahan untuk membuat elemen-elemen bangunan sipil sehingga bobotnya menjadi ringan (Muhammad Wihardi Tjaronge, 2005).

2.3 Aseton

Aseton larut dalam berbagai perbandingan dengan air, etanol, dietil eter, dll. Aseton juga merupakan pelarut yang penting, aseton dapat juga digunakan untuk membuat elastis, serat, obat-obatan, dan senyawa-senyawa kimia lainnya. (Ari Diana Susanti, dkk, 2012)

2.4 Styrofoam

Butir-butiran *styrofoam* diproduksi dari butiran ukuran yang sama dan diubah menjadi ukuran yang berbeda tergantung pada suhu ketika dibentuk. Oleh karena itu jika semakin tinggi suhu maka ukurannya menjadi lebih besar dan semakin besar kemungkinan terjadinya retak mikroskopis. (Modaraei Attaullah Hajati, dkk, 2015).

Budhianto (1997) dalam penelitiannya mengenai penggunaan *styrofoam* sebagai bahan pengganti agregat kasar untuk mendapatkan beton ringan. Melakukan pengamatan dan pengujian terhadap sifat fisik dan mekanik pada beton ringan dengan kadar *styrofoam* 0%, 12.5%, 25%, 37.5%, 50%, 62.5%, 75%, 87.5%, dan 100%. Hasil yang cukup representatif didapatkan untuk beton struktur yaitu beton pada kadar *styrofoam* 12.5%.

Penambahan *styrofoam* yang semakin besar dalam campuran beton akan mengakibatkan beton menjadi lebih ringan, sehingga beban yang dipikul oleh struktur menjadi lebih kecil. (Reni Suryanita, dkk, 2014). Penggunaan *styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Namun keuntungan menggunakan *styrofoam* dibandingkan dengan rongga udara dalam beton berongga adalah *styrofoam* mempunyai kekuatan tarik. Dengan demikian selain akan membuat beton menjadi ringan, dapat juga bekerja sebagai serat yang meningkatkan kekuatan khususnya daktilitas beton. Kerapatan atau berat satuan beton dengan campuran *styrofoam* dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran *styrofoam* dalam beton. (Ida Bagus Dharma Giri, dkk, 2008).

2.5 Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)

Self compacting concrete (SCC) adalah beton stabil yang bisa menyebar dengan mudah ke dalam bekisting dan celah-celah tulangan yang rapat tanpa mengalami konsolidasi mekanis dan tanpa segregasi. SCC memiliki banyak kelebihan dari beton konvensional, yaitu: (1) menghilangkan kebutuhan akan getaran; (2) mengurangi waktu konstruksi dan biaya tenaga kerja; (3) mengurangi polusi suara; (4) memperbaiki zona transisi antarmuka antara pasta semen dan agregat; (5) menurunkan permeabilitas dan perbaikan daya tahan beton; dan (6) memfasilitasi kemampuan dalam kinerja struktural yang baik. A.A. Maghsoudi, dkk (2011).

Selain itu kelebihan SCC yaitu memiliki kemampuan untuk menghadapi penetrasibilitas dan dapat lebih tahan lama dibanding beton biasa. Karakteristik SCC bukan hanya karena tingginya kompaktilitas sementara, bahan yang digunakan dalam produksi SCC memiliki peran penting dalam ketahanan SCC, seperti silika fume dan slag merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam produksi SCC. Hasil penelitian yang dilakukan pada pozzolans menunjukkan bahwa penggunaan pozzolans dapat meningkatkan daya tahan dari semua jenis beton terhadap pelekatan sulfat, karbonat, penetrasi ion klorin, penetrasi oksigen dan air. (Azamirad H dan Zadeh D Beheshti, 2005). Selain itu Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015) meneliti tentang kekuatan tekan *Self Compacting Lightweight Concrete* (SCLC) dengan mensubstitusi *Expanded Polystyrene Aggregate* (EPS) sebesar 10%, 15%, 22.5% dan 30% dari volume beton. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar peningkatan EPS yang digunakan maka akan semakin kecil berat volume dan kekuatan tekan yang dihasilkan. Kekuatan tekan yang dihasilkan berturut-turut adalah 27 MPa, 22 MPa, 19 MPa, dan 17 MPa.

2.6 Bahan Tambah (Admixture)

Mariani, dkk (2009) melakukan penelitian menggunakan bahan tambah (admixture) untuk menghasilkan beton berkinerja tinggi. Pada penelitiannya *superplasticizer* diberikan dalam 3 variasi kadar (1.5%, 2.0%,

2.5%) dengan mengurangi kadar air campuran. Hasil penelitian menunjukkan keadaan *selfcompactibility* SCC tercapai pada semua kadar *superplasticizer* yang diberikan. Tingkat kelecakan aliran (*workabilitas*) SCC meningkat sesuai penambahan kadar *superplasticizer*, dan sebaliknya, kekuatan tekan SCC menurun sesuai penambahan kadar *superplasticizer*. Kondisi optimal SCC tercapai pada kadar 1,5% *superplasticizer*.

2.7 Penelitian terdahulu dan Rencana penelitian

Tabel 2.1 Hasil penelitian terdahulu

No.	Nama	Parameter	Pengujian	Hasil
1.	Budhianto (1997)	Kadar <i>styrofoam</i> digunakan 0%, 12.5%, 25%, 37.5%, 50%, 62.5%, 75%, 87.5% dan 100%.	-	Hasil representatif untuk beton struktur pada kadar <i>styrofoam</i> 12.5%.
2.	Reni Suryanita, dkk (2014)	Variasi penambahan <i>styrofoam</i> yang digunakan adalah 0%, 4%, 8%, dan 12% terhadap volume benda uji.	Kuat Lentur	Nilai kuat lentur beton tertinggi pada <i>styrofoam</i> 0% sebesar 4.1198 MPa.
3.	Nenni Simamora dan Mukti Hamza (2015)	Variasi komposisi <i>styrofoam</i> sebesar 0%, 12%, 14%, 16%, 18% dan 20% dengan pelarut toluena dari berat kerikil yang digunakan dan dengan FAS 0.5.	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	1. Kuat tekan beton maksimum terjadi pada penambahan <i>styrofoam</i> 12% dengan pelarut Toluena yaitu sebesar 23.1 MPa. 2. Peningkatan maksimum nilai modulus elastisitas terjadi pada penambahan <i>styrofoam</i> 20% yaitu sebesar 4672 MPa atau meningkat sebesar 21.2309%.

4.	Ernawati Sri S. dan Taufiq Lilo Adi S. (2014)	Variasi <i>styrofoam</i> 20%, 30%, 40% dari kebutuhan agregat kasar dan variasi <i>fly ash</i> 0%, 20%, 30%, dan 40% dari kebutuhan semen.	Kuat Tekan dan Kuat Lentur	1. Kuat tekan tertinggi terjadi pada penggunaan 20% <i>styrofoam</i> dengan kadar <i>fly ash</i> 30% yaitu sebesar 14.96 MPa. 2. Kuat lentur tertinggi terjadi pada penggunaan 20% <i>styrofoam</i> dengan kadar <i>fly ash</i> 30% yaitu sebesar 2.847 MPa.
5.	Ida Bagus Dharma Giri, dkk (2008)	Variasi persentase penambahan <i>styrofoam</i> adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% terhadap volume campuran dengan diameter butiran <i>styrofoam</i> berkisar antara 3-10 mm.	Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur	1. Kuat tarik belah dan kuat lentur tertinggi terjadi pada penambahan <i>styrofoam</i> 10% yaitu sebesar 2.870 MPa dan 3.731 MPa. 2. Setiap penambahan 10% <i>styrofoam</i> ke dalam campuran beton akan menurunkan berat satuan beton sebesar 81.08 kg/m ³ (4.01%) dan kuat tarik belah sebesar 0.34 MPa (12.19%).
6.	Ida Bagus Dharma Giri, dkk (2008)	Variasi persentase penambahan <i>styrofoam</i> sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40% terhadap volume campuran dengan diameter <i>styrofoam</i> antara 3-10 mm.	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Kuat tekan tertinggi terjadi pada penambahan 10% <i>styrofoam</i> yaitu sebesar 24.781 MPa dengan modulus elastisitas 10202.393 MPa.

7.	Malek Mohamma d Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015)	Mensubstitusi <i>Expanded Polystyrene</i> <i>Aggregate</i> (EPS) sebesar 10%, 15%, 22.5%, dan 30% dari volume beton	Kuat Tekan	Kekuatan tekan yang dihasilkan 10%, 15%, 22.5%, dan 30% EPS berturut-turut adalah 27 MPa, 22 MPa, 19 MPa, dan 17 MPa.
8.	Mariani, dkk (2009)	<i>Superplasticizer</i> diberikan dalam 3 variasi dosis (1,5%, 2,0%, 2,5%) dengan mengurangi kadar air campuran.	<i>Slump</i> <i>Cone</i> dan Kuat Tekan	1. Kadar 1,5%, 2,0%, dan 2,5% menghasilkan SCC yang memenuhi keadaan <i>self</i> <i>compactibility</i> tanpa terjadi segregasi material. 2. Kuat tekan tertinggi terjadi pada kadar 1.5 % <i>superplasticizer</i> yaitu 47.35 MPa.
9.	Attaullah Hajati Modaraei, dkk (2015)	Menggunakan 3 ukuran butiran EPS yaitu lolos saringan no. 7, no. saringan antara 4 dan 7, serta saringan no. 4	<i>Slump</i> , <i>V-</i> <i>funnel</i> , <i>L-</i> <i>box</i>	1. Semakin kecil ukuran EPS, sifat SCC akan semakin berkurang. 2. Pada SCC terutama dengan agregat ringan EPS, jumlah air yang direkomendasikan yaitu 0.35 dari volume campuran.

Tabel 2.2 Hasil Penelitian

Nama	Parameter	Pengujian	Hasil
Dhiafah Hera Darayani (2018)	Variasi ALWA dalam campuran beton yaitu 0%, 15%, 50%, dan 100% dari volume agregat kasar dengan menggunakan aseton sebagai pelarut <i>styrofoam</i> .	Kekuatan Tekan, Modulus Elastisitas, Kekuatan Tarik Belah, Uji Lentur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Semakin tinggi jumlah ALWA yang digunakan pada beton maka semakin rendah berat volume, kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton. 2. Penggantian agregat kasar pada beton normal dan SCC menghasilkan kuat tekan tertinggi pada penambahan ALWA 15% dengan kuat tekan yang dihasilkan beton normal sebesar 21.13 MPa dan pada SCC sebesar 28.33 MPa. 3. Nilai modulus runtuh dari beton memadat sendiri (SCC) dengan kadar 15% ALWA yaitu sebesar 5.029 MPa

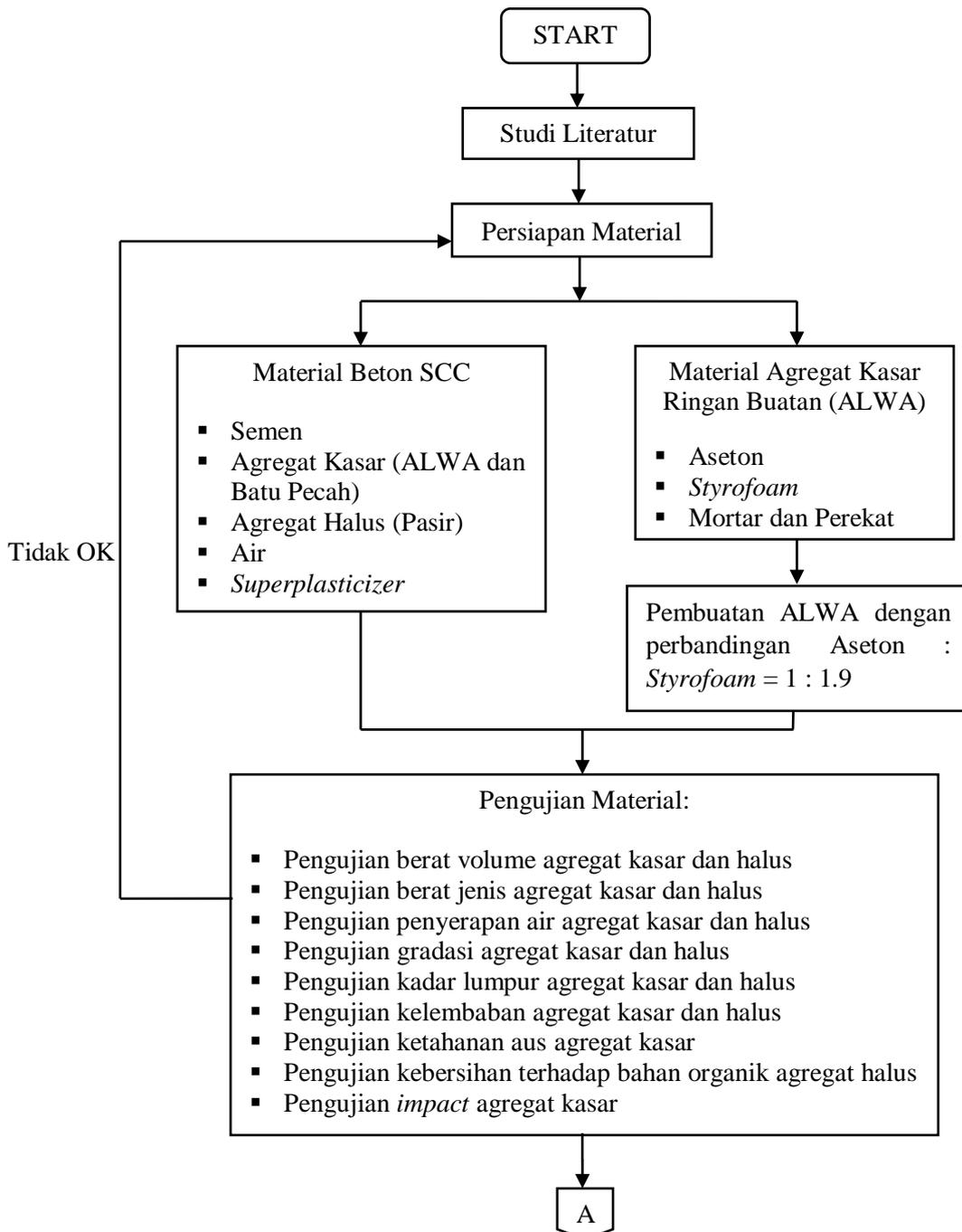
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

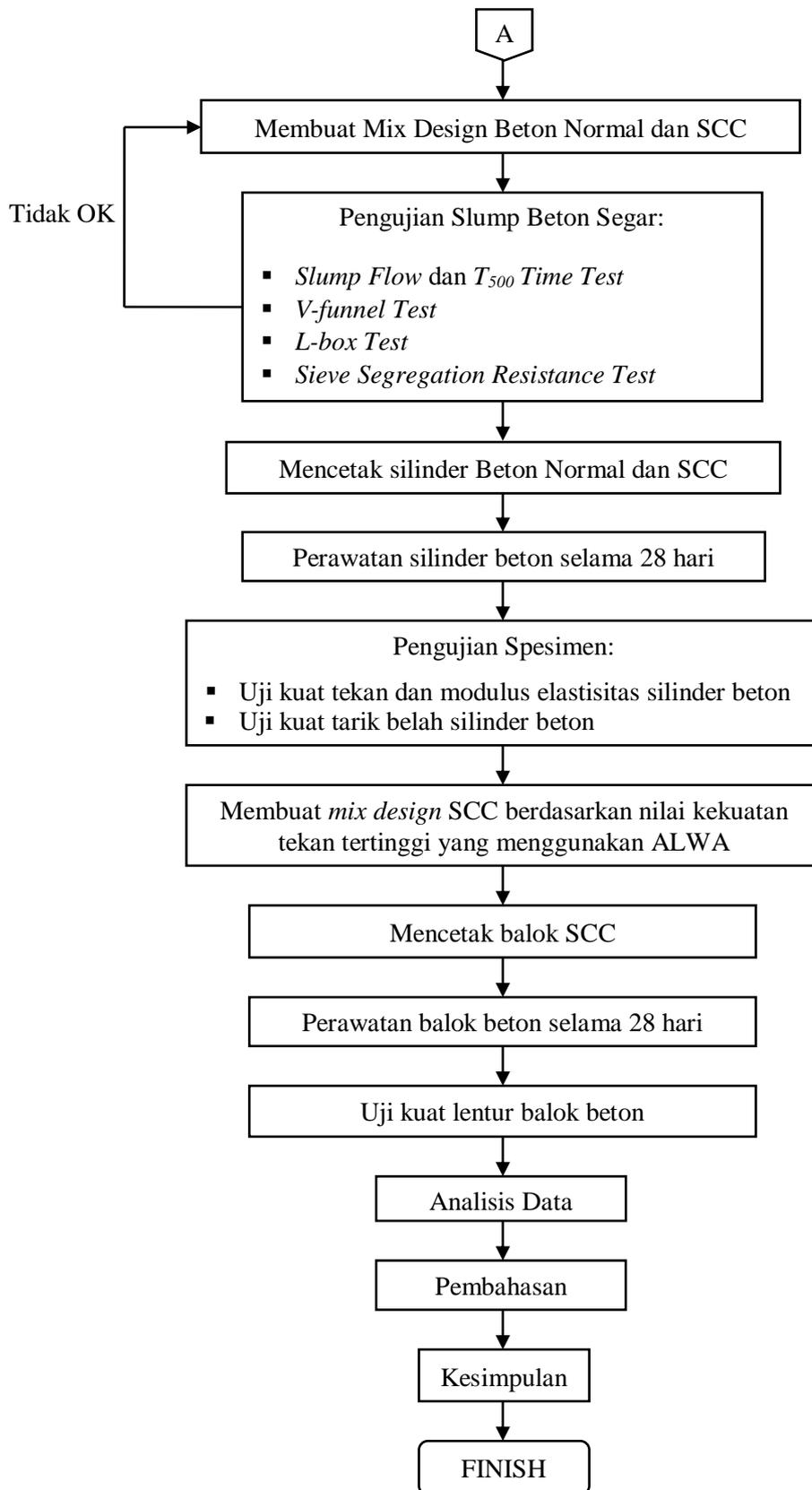
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas langkah-langkah penelitian dan detail pengujian yang akan dilakukan. Berikut adalah bagan alir penelitian yang dijelaskan seperti pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam studi literatur ini yang dilakukan adalah mempelajari perilaku beton menggunakan agregat ringan buatan yang terbuat dari *styrofoam* terhadap kuat tekan beton ringan memadat sendiri. Literatur yang digunakan yaitu berupa jurnal, DOE, ASTM, EFNARC, dan buku-buku yang berkaitan dengan pokok pembahasan diatas.

3.3 Pembuatan ALWA (Artificial Lightweight Aggregate)

Pada proses pembuatan ALWA bahan yang perlu disiapkan yaitu *Styrofoam* dan larutan Aseton. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan ALWA :

1. *Styrofoam* dipotong menjadi kecil, kemudian diberi larutan aseton, dengan perbandingan campuran aseton dan *styrofoam* sebesar 1 : 1.9.
2. Pemberian aseton pada *styrofoam* dilakukan secara bertahap, kemudian dibentuk menjadi butiran.
3. Setelah berbentuk menjadi butiran, ALWA direndam didalam air selama ± 3 hari agar ALWA cepat mengering dan teksturnya menjadi keras.
4. ALWA yang sudah direndam selama ± 3 hari ditiriskan kemudian diangin-anginkan selama ± 14 hari pada suhu 27° agar ALWA menjadi kering.
5. Persiapkan campuran mortar dengan perbandingan pasir : semen : air : perekat adalah 1 : 1 : 0.25 : 0.025.
6. Setelah itu ALWA dilapisi dengan campuran mortar dan didiamkan sampai kering. Berikut adalah gambar ALWA sebelum dan sesudah dilapisi dengan mortar (coating).



Gambar 3.2 ALWA sebelum dan sesudah dilapisi mortar

3.4 Persiapan Material

Tahapan awal pada penelitian ini adalah mempersiapkan material yang akan digunakan sebagai penyusun beton normal dan beton memadat sendiri. Adapun material-material yang dibutuhkan sebagai berikut:

- Semen
- Agregat kasar (ALWA dan batu pecah)
- Agregat halus
- Air
- *Superplasticizer* sebagai tambahan untuk beton memadat sendiri

3.4.1 Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu Semen Portland tipe I yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik.



Gambar 3.3 Semen Gresik

3.4.2 Agregat Kasar

a. *Artificial Lightweight Aggregate (ALWA)*

Pada penelitian ini agregat ringan buatan (ALWA) yang digunakan yaitu berbahan dasar dari *styrofoam*, aseton, dan mortar.



Gambar 3.4 *Artificial Lightweight Aggregate (ALWA)*

b. Batu Pecah

Batu pecah yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari Paserpan.



Gambar 3.5 Batu Pecah

3.4.3 Agregat Halus

Agregat Halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir yang berasal dari Kabupaten Lumajang.



Gambar 3.6 Agregat Halus

3.4.4 Air

Pada penelitian ini air yang digunakan berasal dari jaringan air bersih pada PT. Varia Usaha Beton.

3.4.5 Superplasticizer

Campuran *superplasticizer* yang digunakan yaitu Tipe *ViscoFlow* yang berasal dari PT. Sika Indonesia.



Gambar 3.7 Superplasticizer Sika ViscoFlow®-3217

3.5 Pengujian Material

Pengujian material dimaksudkan untuk mengetahui spesifikasi material yang akan digunakan. Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan terhadap material penyusun beton normal dan *Self Compacting Concrete* yaitu:

3.5.1 Agregat Kasar

1. Pengujian Berat Volume Batu Pecah dan ALWA

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume batu pecah dan ALWA dalam keadaan padat dan lepas. Pengujian untuk batu pecah dilakukan berdasarkan ASTM C 29/C 29M - 97 (Reapproved 2003) dan pengujian untuk ALWA dilakukan berdasarkan ASTM C 330 - 04. Untuk menghitung berat volume dapat dilihat pada Persamaan 3.1:

$$B = \frac{W_3}{V} \quad (3.1)$$

dengan:

W_1 = berat wadah (gram)

W_2 = berat wadah + agregat (gram)

W_3 = berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$) (gram)

V = kapasitas wadah (cm^3)

B = berat isi agregat (gram/cm^3)

2. Pengujian Berat Jenis Batu Pecah dan ALWA

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat jenis batu pecah dan ALWA. Pengujian untuk batu pecah dilakukan berdasarkan ASTM C 127 - 01 dan pengujian untuk ALWA dilakukan berdasarkan ASTM C 330 - 04. Untuk menghitung berat jenis dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$SG = \frac{B}{B-C} \quad (3.2)$$

dengan:

SG = berat jenis (gram/cm^3)

B = berat sampel di udara (gram)

C = berat sampel di dalam air (gram)

3. Pengujian Penyerapan Air Batu Pecah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase penyerapan batu pecah. Pengujian untuk batu pecah dilakukan berdasarkan ASTM C 127 - 01. Besarnya penyerapan air pada batu pecah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Absorption = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.3)$$

dengan:

A = berat sampel kering oven di udara (gram)

B = berat sampel kering permukaan jenuh di udara (gram)

4. Pengujian Gradasi Batu Pecah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran batu pecah dan ALWA. Pengujian untuk batu pecah dilakukan berdasarkan ASTM C 136 - 01.

5. Pengujian Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur pada batu pecah. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 33 - 03. Untuk menghitung besarnya kadar lumpur pada batu pecah dapat dilihat pada Persamaan 3.4:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{B-C}{B} \times 100 \quad (3.4)$$

dengan:

B = berat kering asli sampel (gram)

C = berat kering sampel setelah dicuci (gram)

6. Pengujian Kelembapan Batu Pecah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat air yang dikandung dalam batu pecah pada kondisi asli terhadap berat batu pecah pada kondisi kering oven. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 566 - 97. Prosentase kelembapan pada batu pecah dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$P = \frac{W-D}{D} \times 100 \quad (3.5)$$

dengan:

P = kelembapan batu pecah (%)

W = berat sampel kering asli (gram)

D = berat sampel kering oven (gram)

7. Pengujian Ketahanan Aus Batu Pecah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase keausan batu pecah menggunakan mesin Los Angeles. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 131 - 03. Untuk menghitung tingkat keausan pada batu pecah dapat digunakan Persamaan 3.6.

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.6)$$

dengan:

A = berat sampel sebelum diabrasi (gram)

B = berat sampel setelah diabrasi (gram)

8. Pengujian *Impact* Batu Pecah dan ALWA

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan agregat terhadap beban kejut. Pengujian ini dilakukan berdasarkan *British Standard* 812-112:1990. Untuk menghitung *aggregate impact value* dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$AIV = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.7)$$

dengan:

AIV = *Aggregate Impact Value* (%)

M₁ = berat sampel sebelum diuji (gram)

M₂ = berat sampel setelah diuji (gram)

3.5.2 Agregat Halus

1. Pengujian Berat Volume pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume pada pasir dalam keadaan padat dan keadaan lepas. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 29/C 29M – 97 (Reapproved 2003). Untuk menghitung berat volume pada pasir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$B = \frac{W_3}{V} \quad (3.8)$$

dengan:

W₁ = berat wadah (gram)

W₂ = berat wadah + agregat (gram)

W₃ = berat benda uji (W₃ = W₂ - W₁) (gram)

V = kapasitas wadah (cm³)

B = berat isi agregat (gram/cm³)

2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat jenis pada pasir. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 128 - 01. Untuk menghitung berat jenis pasir dapat digunakan Persamaan 3.9:

$$SG = \frac{A}{B+A-C} \quad (3.9)$$

dengan:

SG = berat jenis (gram/cm³)

A = berat sampel (gram)

B = berat piknometer + air (gram)

C = berat piknometer + sampel + air (gram)

3. Pengujian Penyerapan Air pada Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase penyerapan air pada pasir. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 128 - 01. Besarnya penyerapan air pada pasir dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10:

$$Absorption = 100 \times \frac{S-A}{A} \quad (3.10)$$

dengan:

A = berat sampel kering oven di udara (gram)

S = berat sampel kering permukaan jenuh di udara (gram)

4. Pengujian Gradasi Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran pada pasir. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 136 - 01.

5. Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur yang terdapat dalam pasir. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 117 - 03. Besarnya kadar lumpur pada pasir dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{B-C}{B} \times 100 \quad (3.11)$$

dengan:

B = berat kering asli sampel (gram)

C = berat kering sampel setelah dicuci (gram)

6. Pengujian Kelembapan Pasir

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat air yang dikandung dalam pasir pada kondisi asli terhadap berat pasir pada kondisi kering oven. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 566 –

97. Prosentase kelembapan pada pasir dapat dihitung dengan Persamaan 3.12 berikut ini:

$$P = 100 \times \frac{W-D}{D} \quad (3.12)$$

dengan:

P = kelembapan pasir (%)

W = berat sampel kering asli (gram)

D = berat sampel kering oven (gram)

7. Pengujian Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar organik pada pasir yang akan digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 40 - 04.

3.6 Kebutuhan Benda Uji

Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sedangkan benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat lentur yaitu berbentuk balok dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 550 mm. Adapun jenis campuran dan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Jumlah kebutuhan benda uji

Kadar ALWA (%)	Kekuatan Tekan dan Modulus Elastisitas		Kekuatan Tarik Belah		Kekuatan Lentur
	Beton Normal (C)	Beton Memadat Sendiri (SCC)	Beton Normal (C)	Beton Memadat Sendiri (SCC)	
0	3	3	3	3	Diambil hasil yang paling optimum dari uji kekuatan tekan
15	3	3	3	3	
50	3	3	3	3	
100	3	3	3	3	
Jumlah	12	12	12	12	
Total	50				

dengan:

- C0 = beton normal tanpa ALWA.
- C15 = beton normal dengan ALWA 15%.
- C50 = beton normal dengan ALWA 50%.
- C100 = beton normal dengan ALWA 100%.
- SCC0 = beton memadat sendiri tanpa ALWA.
- SCC15 = beton memadat sendiri dengan ALWA 15%.
- SCC50 = beton memadat sendiri dengan ALWA 50%.
- SCC100 = beton memadat sendiri dengan ALWA 100%.

3.7 Membuat *Mix Design*

3.7.1 *Mix Design* Beton Normal

Proses untuk menentukan komposisi campuran adukan beton diperoleh berdasarkan data-data dari material dasar penyusun beton seperti berat volume, berat jenis, gradasi agregat kasar dan agregat halus. Tujuan dari *mix design* yaitu sebagai acuan dalam merencanakan proporsi campuran beton yang tepat agar menghasilkan mutu beton sesuai dengan yang direncanakan. Penentuan *mix design* untuk beton normal mengacu terhadap SNI T-15-1990-03 dengan metode Department of Environment (DOE).

3.7.2 *Mix Design* Beton Memadat Sendiri (SCC)

Sifat beton segar pada SCC harus memenuhi kriteria persyaratan yang telah ditentukan oleh *European Federation Of National Trade Associations Representing Produce* (EFNARC), yaitu *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance*. *Filling ability* perlu dikontrol untuk mengetahui kemampuan mengalir campuran beton segar pada saat mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri. Sedangkan *passing ability* perlu diperhatikan untuk mengetahui kemampuan campuran beton segar ketika melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan. Karena tingginya fluiditas pada SCC, risiko untuk terjadinya segregasi sangat tinggi oleh karena itu ketahanan

campuran beton segar terhadap segregasi atau *segregation resistance* sangat penting untuk diperhatikan.

EFNARC menggunakan beberapa persyaratan dalam penentuan komposisi *mix design* untuk meningkatkan *workability* SCC. Komposisi yang disyaratkan berdasarkan workabilitas SCC dalam EFNARC, dapat dilihat pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Komposisi *mix design* EFNARC

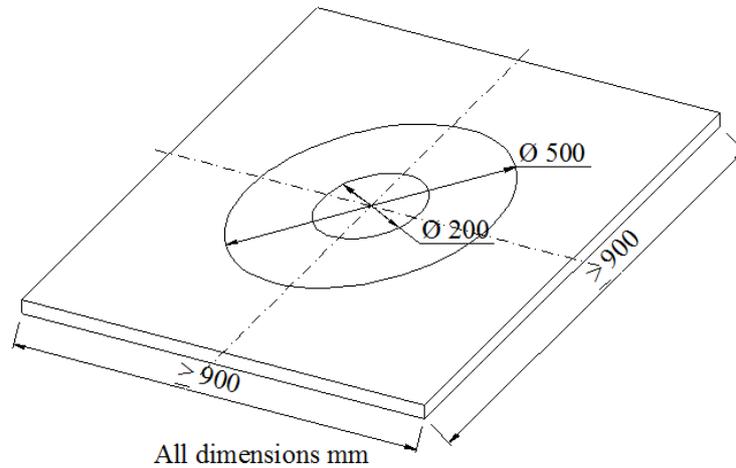
Material	Batasan Penggunaan
Agregat kasar	Kurang dari 50%
<i>Water powder ratio</i>	0.8 – 1.0
Semen	400 - 600 Kg/m ³
Pasir	Lebih dari 40% volume mortar Kurang dari 50% volume pasta Lebih dari 50% berat total agregat
Air	Kurang dari 200 liter
Pasta	Lebih dari 40% volume campuran

(Sumber: EFNARC, 2002)

3.8 Pengujian *Slump* Beton Segar

3.8.1 *Slump Flow* dan *T₅₀₀ Slump Time Test*

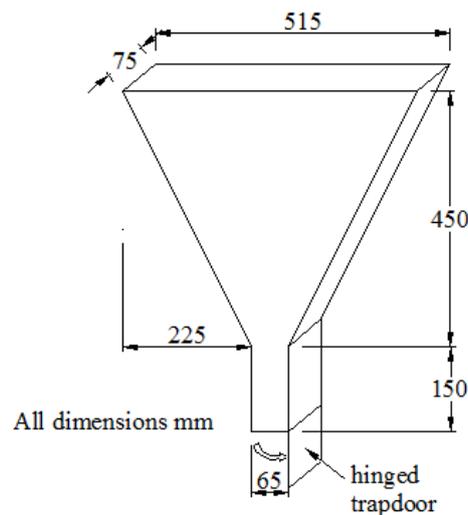
Pengujian ini digunakan untuk mengukur *flowability* beton memadat sendiri tanpa adanya penghalang. *T₅₀₀ slump time* merupakan ukuran waktu kecepatan aliran viskositas beton memadat sendiri saat beton telah mengalir ke diameter 500 mm. Pengujian *Slump flow* dan *T₅₀₀ slump time* ini mengacu kepada EFNARC 2005. Bentuk dan ukuran *baseplate* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Baseplate (Sumber: EFNARC, 2005)

3.8.2 V-funnel Test

Pengujian *V-funnel* bertujuan untuk menentukan viskositas dan kemampuan pengisian beton memadat sendiri. Dalam hal ini yaitu menentukan waktu yang dibutuhkan agar beton mengalir keluar dari corong V. Pengujian ini tidak sesuai bila ukuran maksimum agregat melebihi 20 mm. Pengujian *V-funnel* mengacu kepada EFNARC 2005. Bentuk dan ukuran alat pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 V funnel (Sumber: EFNARC, 2005)

3.8.3 *L-box Test*

Uji *L-box* digunakan untuk menilai kemampuan SCC pada saat mengalir melalui celah antar tulangan atau penghalang lainnya tanpa mengalami segregasi dan blocking. Pengujian *L-box* mengacu kepada standard EFNARC 2005. Bentuk *L-box* dapat dilihat pada Gambar 3.10. Untuk menghitung besarnya *Passing Ability* digunakan persamaan sebagai berikut:

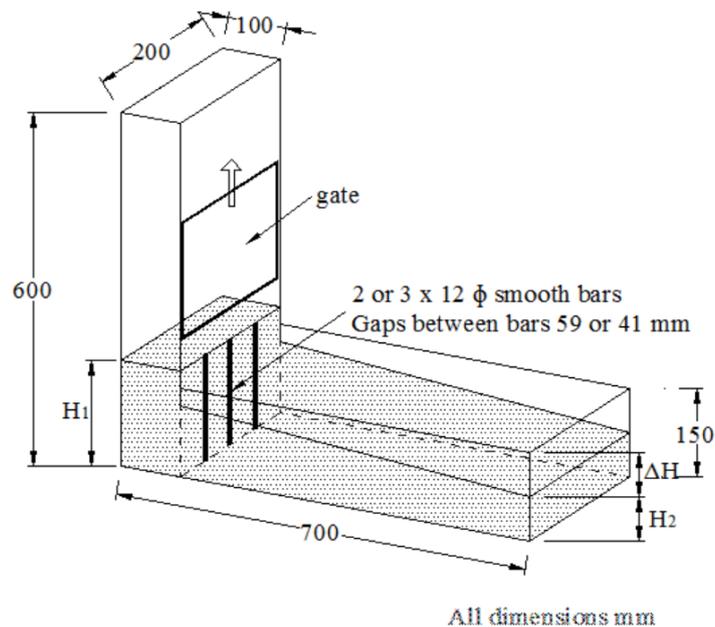
$$PA = \frac{H_2}{H_1} \quad (3.13)$$

dengan:

PA = *Passing Ability*

H1 = tinggi beton segar pada box I (mm)

H2 = tinggi beton segar pada box II (mm)



Gambar 3.10 *L-box* (Sumber: EFNARC, 2005)

3.8.4 *Sieve Segregation Resistance Test*

Uji *Sieve Segregation Resistance* bertujuan untuk menentukan ketahanan beton memadat sendiri terhadap pemisahan agregat kasar. *Sieve Segregation Resistance Test* mengacu kepada EFNARC 2005. Untuk

menghitung besarnya *Segregated Portion* atau bagian terpisah digunakan Persamaan 3.14:

$$SR = \frac{W_{ps} - W_p}{W_c} \times 100\% \quad (3.14)$$

dengan:

SR = *Segregated Portion* (%)

W_{ps} = berat beton segar yang melewati saringan (gram)

W_p = berat saringan (gram)

W_c = berat beton segar pada saringan (gram)

3.9 Proses Pembuatan Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC)

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji berupa silinder beton adalah sebagai berikut:

1. Membuat agregat ringan buatan (ALWA),
2. Pengadaan material pasir, semen, kerikil (batu pecah) dan *superplasticizer* sebagai tambahan untuk SCC,
3. Menyiapkan cetakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 mm dan tinggi 20 mm,
4. Menyiapkan dan menimbang bahan yang digunakan dengan proporsi yang telah ditentukan,
5. Setelah ditimbang, bahan pasir, semen, batu pecah, dan ALWA diaduk hingga rata,
6. Kemudian ditambahkan air, untuk SCC jumlah air yang digunakan dicampurkan terlebih dahulu dengan *superplasticizer*,
7. Bahan yang telah dicampurkan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan,
8. Kemudian benda uji dikeringkan untuk proses pengerasan,
9. Setelah 24 jam, cetakan dibuka dan beton direndam selama 28 hari terhitung saat beton selesai dicetak.

3.10 Perawatan Benda Uji

Pada penelitian ini metode perawatan yang digunakan adalah dengan melakukan perendaman terhadap sampel beton dalam bak berisi air selama 28

hari. Hal ini bertujuan untuk menjaga kelembapan beton agar tidak mengalami keretakan karena proses kehilangan air yang begitu cepat.

3.11 Pengujian Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC)

3.11.1 Uji Kekuatan Tekan Silinder Beton

Pengujian kekuatan tekan dilakukan berdasarkan ASTM C 39/C 39M - 03 menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM). Untuk setiap komposisi (0%, 15%, 50%, dan 100% ALWA) masing-masing digunakan 3 buah benda uji agar diperoleh nilai rata-ratanya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya kekuatan tekan beton normal dan beton memadat sendiri (SCC) terhadap pembebanan. Untuk menghitung besarnya kekuatan tekan beton, maka digunakan Persamaan 3.15:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.15)$$

dengan:

$f'c$ = besarnya kekuatan tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas permukaan silinder beton (mm²)

Langkah - langkah pengujian kekuatan tekan beton:

- 1) Sebelum dilakukan pengujian terhadap silinder beton, terlebih dahulu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan belerang yang telah dipanaskan,
- 2) Setelah ditimbang, benda uji diletakkan pada alat pembebanan mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*),
- 3) Kemudian pembebanan diberikan secara berangsur-angsur sampai benda uji tersebut mencapai pembebanan maksimal. Besar beban dicatat sesuai jarum petunjuk pembebanan,
- 4) Beban yang mampu ditahan masing-masing benda uji (P) dibagi dengan luas permukaan beton yang tertekan (A), sehingga diperoleh kekuatan tekan beton yang maksimum.

3.11.2 Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM). Perhitungan modulus elastisitas diambil dari nilai tegangan pada saat $0.45f'c$ (ACI 318-08). Perhitungan untuk modulus elastisitas dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$E_c = \frac{0.45f'c}{\varepsilon_{0.45f'c}} \quad (3.16)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas (MPa)

$0.45 f'c$ = tegangan pada saat 0.45 tegangan maksimum (MPa)

$\varepsilon_{0.45 f'c}$ = regangan pada saat 0.45 tegangan maksimum

Berikut adalah tahapan pengujian modulus elastisitas beton:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan,
2. Ukur diameter dan tinggi silinder, kemudian timbang beratnya,
3. Lakukan capping terhadap permukaan yang kasar dari benda uji,
4. Letakan benda uji pada mesin uji,
5. Tekan benda uji sampai batas yang telah ditentukan.

3.11.3 Uji Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton

Pengujian kekuatan tarik belah dilakukan berdasarkan ASTM C 496/C 496M - 04. Pengujian ini menggunakan mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Pengujian ini menggunakan benda uji silinder beton yang berukuran 10 x 20 mm yang diletakkan pada arah memanjang di atas mesin uji CTM, kemudian beban tekan P diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh tinggi silinder. Apabila kekuatan tarik terlampaui, maka benda uji akan terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Besaran kekuatan tarik belah dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.17)$$

dengan:

f_t = besarnya kekuatan tarik belah (MPa)

P = beban maksimum (N)

L = panjang benda uji silinder (mm)

D = diameter benda uji silinder (mm)

Langkah-langkah pengujian kekuatan tarik belah beton:

1. Menggambar garis diameter pada kedua ujung silinder yang satu sama lain sejajar dan kemudian membuat garis yang menghubungkan kedua ujung garis diameter tersebut. Periksa apakah kedua garis yang sejajar sumbu silinder tersebut benar-benar berada pada kedua sisinya,
2. Meletakkan pelat tipis yang terbuat dari kayu di atas blok mesin tekan yang bawah, dengan melalui pusat diameter bloknya,
3. Meletakkan benda uji di atas pelat tipis kayu dengan garis diameter vertikal. Perhatikan apakah silinder telah benar-benar terletak semuanya di atas pelat tipis kayu tersebut,
4. Meletakkan kembali pelat tipis yang lain di atas silinder beton,
5. Memeriksa apakah kedudukan silinder telah berada diantara dua pelat penekan secara sentris dan semua pelat tipis kayu berada sejajar dengan sumbu silinder,
6. Meletakkan benda uji pada alat pembebanan mesin uji tarik belah beton (*compression testing machine*),
7. Menerapkan beban pada silinder secara terus menerus dan tidak boleh secara mendadak. Pembebanan dilakukan sampai beton tersebut pecah.

3.11.4 Uji Kekuatan Lentur Balok Beton

Pengujian kekuatan lentur balok dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 02. Pengujian ini dilakukan setelah mendapatkan hasil uji kekuatan tekan yang optimum. Benda uji yang digunakan balok beton ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm. Untuk menghitung besarnya kekuatan lentur beton maka digunakan Persamaan 3.18:

$$f_r = \frac{M_{cr} \times y}{I} \quad (3.18)$$

$$M_{cr} = \frac{P}{2} \times \frac{L}{3} \quad (3.19)$$

dengan:

f_r = modulus runtuh (MPa)

P = beban maksimum yang ditunjukkan oleh mesin uji (N)

L = panjang bentang (mm)

b = lebar penampang spesimen (mm)

h = tinggi penampang spesimen (mm)

y = 0.5 tinggi penampang (mm)

Adapun langkah langkah pengujian kekuatan lentur beton:

1. Menyiapkan benda uji balok beton yang akan diuji,
2. Meletakkan benda uji pada alat uji lentur dengan posisi mendatar,
3. Mencatat besarnya beban maksimum yang terjadi pada benda uji.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian yang telah diperoleh dari pengujian di laboratorium. Hasil penelitian terdiri dari pengujian material yaitu agregat halus, agregat kasar (batu pecah dan ALWA). Serta pengujian kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah, dan kekuatan lentur dari beton. Data-data hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2 Hasil Analisis Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi agregat kasar batu pecah, ALWA dan pasir. Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan penyusun beton diperoleh hasil pengujian material terhadap berat volume, berat jenis, penyerapan air, gradasi, kadar lumpur, kelembapan, ketahanan aus, *impact*, dan kebersihan terhadap bahan organik yang akan dijabarkan pada sub bab berikut ini.

4.2.1 Agregat Kasar

1. Pengujian Berat Volume Batu Pecah dan ALWA

Hasil pengujian berat volume lepas dan berat volume padat batu pecah ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Berat volume batu pecah

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
Tanpa rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3900	3900	3900
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	7900	7800	7850
3	Berat benda uji	$W3 = W2 - W1$	(gr)	4000	3900	3950
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	$B = W3/V$	(gr/cm ³)	1.333	1.300	1.317
Dengan rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3900	3900	3900
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	8400	8300	8350
3	Berat benda uji	$W3 = W2 - W1$	(gr)	4500	4400	4450
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	$B = W3/V$	(gr/cm ³)	1.500	1.467	1.483

Hasil pengujian menunjukkan berat volume lepas rata-rata sebesar 1.317 gr/cm³ dan berat volume padat rata-rata 1.483 gr/cm³. Untuk hasil pengujian berat volume lepas dan berat volume padat pada ALWA dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Berat volume ALWA

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
Tanpa rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3820	3820	3820
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	5969	5960	5965
3	Berat benda uji	W3 = W2-W1	(gr)	2149	2140	2145
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	B = W3/V	(gr/cm ³)	0.716	0.713	0.715
Dengan rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3820	3820	3820
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	6165	6170	6168
3	Berat benda uji	W3 = W2-W1	(gr)	2345	2350	2348
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	B = W3/V	(gr/cm ³)	0.782	0.783	0.783

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa berat volume lepas rata-rata dan berat volume padat rata-rata untuk ALWA berturut-turut adalah 0.715 dan 0.783 gr/cm³. Batas berat volume agregat ringan menurut ASTM C 330 – 04 adalah 0.880 gr/cm³, maka ALWA yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

2. Pengujian Berat Jenis Batu Pecah dan ALWA

Pemeriksaan berat jenis agregat yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemeriksaan berat jenis dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD). Hasil pengujian berat jenis batu pecah ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Berat jenis batu pecah

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel di udara	B	(gr)	2000	2000	2000
2	Berat sampel di dalam air	C	(gr)	1250.5	1250.9	1250.7
3	Berat jenis	B/(B-C)	(gr/cm ³)	2.668	2.670	2.669

Dari hasil pengujian didapatkan berat jenis batu pecah rata-rata sebesar 2.669. Besarnya berat jenis batu pecah yang ditentukan ASTM C

127 – 01 berkisar antara 2.4 hingga 2.7, sehingga nilai berat jenis menunjukkan bahwa batu pecah telah memenuhi persyaratan. Untuk hasil pengujian berat jenis ALWA dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Berat jenis ALWA

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel di udara	B	(gr)	2000	2000	2000
2	Berat sampel di dalam air	C	(gr)	320	318	319
3	Berat jenis	$B/(B-C)$	(gr/cm^3)	1.190	1.189	1.190

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil pemeriksaan berat jenis ALWA dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD) rata-rata sebesar 1.190. Nilai ini telah memenuhi persyaratan menurut ASTM C 330 – 04, yaitu berat jenis agregat ringan berkisar antara 1 sampai 1.8.

3. Pengujian Penyerapan Air Batu Pecah

Hasil pengujian penyerapan air batu pecah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5 Penyerapan air batu pecah

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel kering oven di udara	A	(gr)	1000	1000	1000
2	Berat sampel kering permukaan jenuh di udara	B	(gr)	1012.2	1010.7	1011.5
3	<i>Absorption</i>	$(B-A)/A$	(%)	1.220	1.070	1.145

Menurut ASTM C 127 – 01 batas penyerapan air pada batu pecah adalah 1% sampai 2%. Dari hasil pemeriksaan didapatkan penyerapan air rata-rata pada batu pecah sebesar 1.145, ini menunjukkan bahwa penyerapan air batu pecah sesuai dengan standar yang ditentukan.

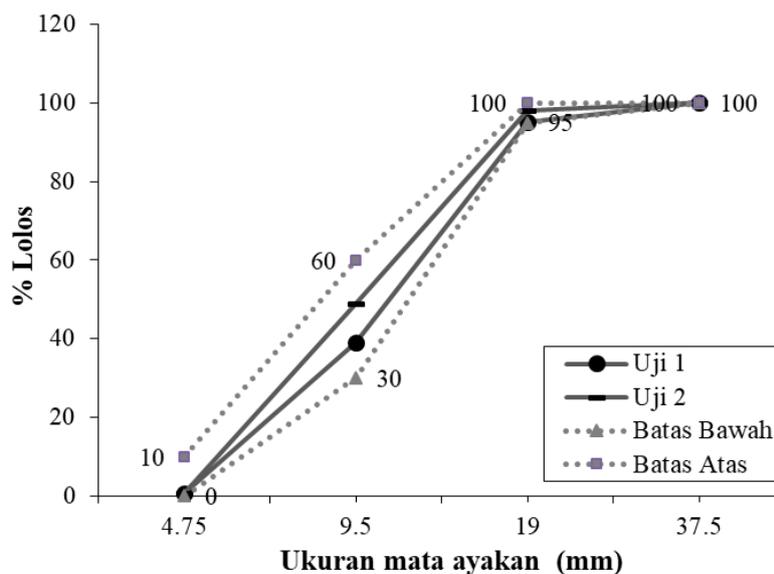
4. Pengujian Gradasi Batu Pecah

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 136 – 01. Hasil pengujian gradasi batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Gradasi batu pecah

Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)	Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
1 1/2" (37.5 mm)	0	0	0	100	0	0	0	100
3/4" (19 mm)	47.5	47.5	4.75	95.3	20.3	20.3	2.03	97.97
3/8" (9.5 mm)	563.15	610.65	61.07	38.9	491.55	511.85	51.19	48.82
No. 4 (4.75 mm)	383.55	994.20	99.42	0.58	482.05	993.90	99.39	0.61
No. 8 (2.38 mm)	0	994.20	99.42	0.58	0	993.90	99.39	0.61
No. 16 (1.1 mm)	0	994.20	99.42	0.58	0	993.90	99.39	0.61
No. 30 (0.59 mm)	0	994.20	99.42	0.58	0	993.90	99.39	0.61
No. 50 (0.297 mm)	0	994.20	99.42	0.58	0	993.90	99.39	0.61
No. 100 (0.149 mm)	0	994.20	99.42	0.58	0	993.90	99.39	0.61
PAN	5.8	1000			6.1	1000		
Jumlah	1000		662.34	238	1000		649.56	250

Untuk lebih jelasnya hasil gradasi batu pecah diplot dalam grafik.



Gambar 4.1 Grafik gradasi batu pecah ukuran maksimum 20 mm

Pada pengujian ini batu pecah masuk dalam zona lengkung ayakan berukuran maksimum 20 mm sehingga kerikil yang digunakan telah memenuhi persyaratan dalam standar ASTM. Menurut SII 0052-80 batasan nilai modulus kehalusan untuk agregat kasar adalah 6.0 sampai 7.1. Dari hasil pengujian didapatkan nilai modulus kehalusan uji 1 sebesar 6.62 dan uji 2 sebesar 6.50, ini menunjukkan modulus kehalusan telah memenuhi persyaratan.

5. Pengujian Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian)

Hasil pengujian kebersihan batu pecah terhadap lumpur dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.7 Kebersihan batu pecah terhadap lumpur

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat kering asli sampel	B	(gr)	1000	1000	1000
2	Berat kering sampel setelah dicuci	C	(gr)	996	996.1	996.1
3	Kadar lumpur kerikil	$((B-C)/B) \times 100$	(%)	0.400	0.390	0.395

Dari hasil pengujian menunjukkan kadar lumpur rata-rata pada batu pecah sebesar 0.395%. Dengan demikian batu pecah tersebut dapat dipakai sebagai bahan penyusun beton dan tidak perlu dilakukan pencucian karena kadar lumpurnya masih memenuhi standar yang disyaratkan sesuai dengan ASTM C 33 – 03 dimana syarat kadar lumpur batu pecah adalah kurang dari 1% dari berat agregat.

6. Pengujian Kelembapan Batu Pecah

Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM C 566 – 97. Hasil pengujian kelembapan batu pecah ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kelembapan batu pecah

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel kering asli	W	(gr)	500	500	500
2	Berat sampel kering oven	D	(gr)	496.6	497	496.8
3	Kelembapan kerikil	$((W-D)/D) \times 100$	(%)	0.685	0.604	0.644

Dari hasil pengujian diperoleh kelembapan rata-rata pada batu pecah sebesar 0.644% dimana hasil ini sudah sesuai dengan ASTM dimana kelembapan kerikil tidak boleh kurang dari 0.1%.

7. Pengujian Ketahanan Aus Batu Pecah

Hasil pengujian ketahanan aus batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Ketahanan aus batu pecah

No. Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1 Berat sampel sebelum diabrasi	A	(gr)	5000	5000	5000
2 Berat sampel setelah diabrasi	B	(gr)	3961.5	3910.1	3935.8
3 Keausan kerikil	$((A-B)/A) \times 100$	(%)	20.770	21.798	21.284

Dari hasil pengujian ketahanan aus batu pecah didapatkan tingkat keausan batu pecah sebesar 21.284%. Hasil ini memenuhi persyaratan ASTM C 131 - 03 dimana syarat tingkat keausan harus kurang dari 35%.

8. Pengujian *Impact* Batu Pecah dan ALWA

Hasil pengujian *impact* batu pecah dan ALWA dapat dilihat pada Tabel 4.10:

Tabel 4.10 *Impact* batu pecah

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel sebelum diuji	M_1	(gr)	647	655	651
2	Berat sampel setelah diuji	M_2	(gr)	75	73	74
3	<i>Aggregate Impact Value</i>	$(M_2/M_1) \times 100$	(%)	11.6	11.1	11.4

Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah agregat yang lolos ayakan 14 mm dan tertahan 10 mm. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *impact* batu pecah sebesar 11.4%. Nilai *impact* batu pecah ini telah memenuhi persyaratan *British Standard* 812-112:1990 dimana nilai *impact* tidak boleh lebih dari 30%.

Tabel 4.11 *Impact* ALWA

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel sebelum diuji	M_1	(gr)	454	463	458.5
2	Berat sampel setelah diuji	M_2	(gr)	112	112	112
3	<i>Aggregate Impact Value</i>	$(M_2/M_1) \times 100$	(%)	24.7	24.2	24.4

Dari hasil pengujian didapatkan nilai *impact* ALWA sebesar 24.4%. Nilai *impact* ALWA ini telah memenuhi persyaratan *British Standard* 812-112:1990 dimana nilai *impact* harus kurang dari 30%.

4.2.2 Agregat Halus

1. Pengujian Berat Volume pasir

Hasil pengujian untuk berat volume lepas dan padat pasir ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Berat volume pasir

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
Tanpa rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3900	3900	3900
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	7700	7650	7675
3	Berat benda uji	$W3 = W2 - W1$	(gr)	3800	3750	3775
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	$B = W3/V$	(gr/cm ³)	1.267	1.250	1.258
Dengan rojokan						
1	Berat wadah	W1	(gr)	3900	3900	3900
2	Berat wadah + agregat	W2	(gr)	8350	8300	8325
3	Berat benda uji	$W3 = W2 - W1$	(gr)	4450	4400	4425
4	Kapasitas wadah	V	(cm ³)	3000	3000	3000
5	Berat isi agregat	$B = W3/V$	(gr/cm ³)	1.483	1.467	1.475

Hasil pengujian menunjukkan berat volume lepas dan berat volume padat untuk pasir berturut-turut adalah 1.258 dan 1.475 gr/cm³.

2. Pengujian Berat Jenis Pasir

Pemeriksaan berat jenis pasir yang dilakukan pada penelitian ini adalah pemeriksaan berat jenis dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD). Untuk hasil pengujian berat jenis pasir dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.13 Berat jenis pasir

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel	A	(gr)	500	500	500
2	Berat piknometer + air	B	(gr)	639.7	641.1	640.4
3	Berat piknometer + sampel + air	C	(gr)	952.6	954.9	953.75
4	Berat jenis	$A/(B+A-C)(\text{gr}/\text{cm}^3)$		2.672	2.685	2.679

Berdasarkan ASTM C 128 – 01 berat jenis pasir berkisar antara 2.4 sampai 2.7, maka hasil pengujian berat jenis sebesar 2.679 telah memenuhi persyaratan.

3. Pengujian Penyerapan Air pada Pasir

Hasil pengujian penyerapan air pada pasir dapat dilihat pada Tabel 4.14:

Tabel 4.14 Penyerapan air pada pasir

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	
1	Berat sampel kering oven di udara	A	(gr)	500	500	500	
2	Berat sampel kering permukaan jenuh di udara	S	(gr)	508.5	507.4	507.95	
3	<i>Absorption</i>	$100 \times ((S-A)/A)$		(%)	1.700	1.480	1.590

Pengujian ini mengacu pada ASTM C 128 – 01 dengan syarat batas penyerapan pada pasir antara 1% sampai 4%. Dari hasil pengujian didapatkan penyerapan air rata-rata pada pasir sebesar 1.590. Hasil ini menunjukkan bahwa air serapan pada pasir memenuhi standar yang ditentukan.

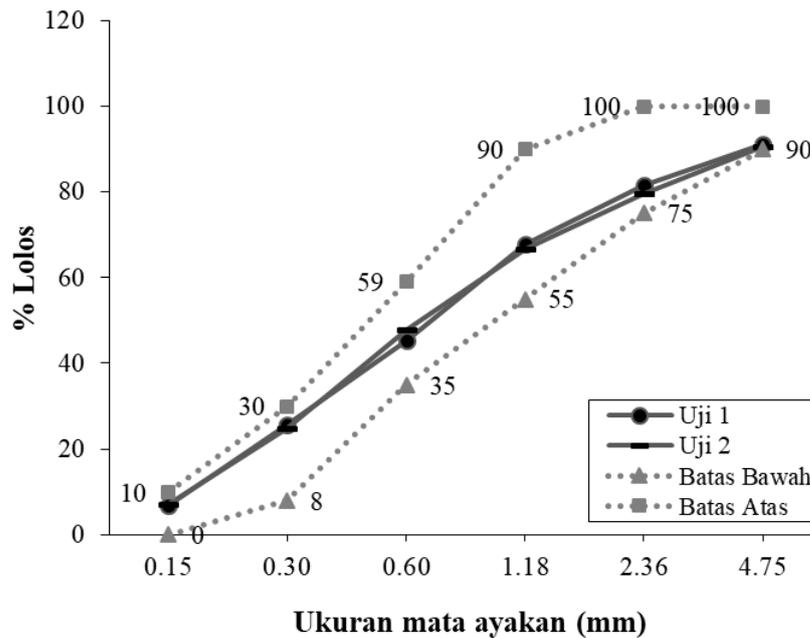
4. Pengujian Gradasi Pasir

Hasil pemeriksaan gradasi pasir dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Gradasi pasir

Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan Komulatif (gram)	Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)	Tertahan Komulatif (gram)	Tertahan Komulatif (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
9.5	0	0	0	100	0	0	0	100
No. 4 (4.75 mm)	88.8	88.8	8.88	91.12	94.1	94.1	9.41	90.59
No. 8 (2.36 mm)	95.6	184.4	18.44	81.56	110.6	204.7	20.47	79.53
No. 16 (1.18 mm)	137.0	321.4	32.14	67.86	127.5	332.2	33.22	66.78
No. 30 (0.6 mm)	225.6	547.0	54.70	45.30	189.8	522.0	52.20	47.80
No. 50 (0.3 mm)	197.7	744.7	74.47	25.53	230.8	752.8	75.28	24.72
No. 100 (0.15 mm)	186.3	931.0	93.10	6.90	176.3	929.1	92.91	7.09
No. 200 (0.075 mm)	39.7	970.7	97.07	2.93	35.1	964.2	96.42	3.58
PAN	29.3	1000			35.8	1000		
Jumlah	1000		378.80	421.20	1000		379.91	420.09

Untuk lebih jelasnya hasil gradasi pasir diplot dalam grafik.



Gambar 4.2 Grafik gradasi pasir zona 2

Pada pengujian ini pasir yang digunakan termasuk pada zona II yaitu pasir dengan kategori sedang. Berdasarkan ASTM C 136 – 01, agregat yang baik adalah agregat yang masuk dalam lengkung ayakan yang telah ditentukan, sehingga dari Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa pasir yang digunakan telah memenuhi persyaratan. Menurut SII 0052-80 batasan nilai modulus kehalusan untuk agregat halus adalah 1.5 sampai

3.8. Dari hasil pengujian didapatkan nilai modulus kehalusan uji 1 sebesar 3.79 dan uji 2 sebesar 3.80, ini menunjukkan modulus kehalusan telah memenuhi persyaratan.

5. Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Hasil pengujian kadar lumpur pada pasir ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Kandungan lumpur pasir

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat kering asli sampel	B	(gr)	500	500	500
2	Berat kering sampel setelah dicuci	C	(gr)	482.5	481.2	481.85
3	Kadar lumpur pasir	$((B-C)/B) \times 100$	(%)	3.500	3.760	3.630

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kadar lumpur rata-rata pada pasir sebesar 3.630%. Sehingga pasir tersebut dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton tanpa dilakukan pencucian karena kandungan lumpurnya masih memenuhi standar yang disyaratkan sesuai dengan ASTM C 117 – 03 dimana syarat kadar lumpur agregat halus adalah kurang dari 5% dari berat agregat.

6. Pengujian Kelembapan Pasir

Hasil pengujian kelembapan pasir dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Kelembapan pasir

No.	Pemeriksaan	Simbol	Satuan	Uji 1	Uji 2	Rata-rata
1	Berat sampel kering asli	W	(gr)	500	500	500
2	Berat sampel kering oven	D	(gr)	479.3	478.7	479
3	Kelembapan pasir	$100 \times ((W-D)/D)$	(%)	4.319	4.450	4.384

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kelembapan rata-rata pada pasir sebesar 4.384%. Menurut ASTM C 566 – 97 angka kelembapan pasir yang kurang dari 0.1% termasuk dalam kategori pasir benar-benar kering.

Dari hasil pengujian yang didapatkan maka dapat dilihat bahwa pasir yang digunakan tidak termasuk dalam kategori benar-benar kering.

7. Pengujian Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik

Hasil pengujian kebersihan pasir terhadap bahan organik ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Kebersihan pasir terhadap bahan organik

No.	Pemeriksaan	Satuan	Uji 1
1	Berat pasir	(gr)	130
2	Berat larutan NaOH	(gr)	100
3	Warna sesuai parameter		No. 3

Untuk lebih jelasnya gambar pengujian hasil *organic plate* ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil warna sesuai *organic plate*

Warna dari hasil pemeriksaan kebersihan pasir terhadap bahan organik masuk ke dalam kategori nomer 3, hal ini menunjukkan pasir yang digunakan memenuhi persyaratan ASTM C 40 – 04 yang menyatakan bila hasil dari sampel yang diuji diatas warna standar (*organic plate* no. 3) maka pasir mengandung bahan organik yang berbahaya.

4.3 Hasil Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Dari hasil *trial and error* terhadap empat alternatif *mix design* beton normal dan *Self Compacting Concrete*, maka digunakan *mix design* yang ketiga sebagai komposisi campuran beton normal dan *Self Compacting Concrete* karena memenuhi persyaratan uji beton segar pada campuran beton. Perbandingan adukan beton per 1m³ yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.19 *Mix design* beton normal per m³

Beton Normal	Material				
	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	ALWA (kg)
0%	475	190	1033	689	-
15%	475	190	1033	585	55
50%	475	190	1033	344	183
100%	475	190	1033	-	367

Tabel 4.20 *Mix design* beton memadat sendiri (SCC) per m³

Beton Memadat Sendiri (SCC)	Material						
	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	ALWA (kg)	<i>Sika ViscoFlow</i> [®] 3217 (%)	<i>Sika ViscoFlow</i> [®] 3217 (kg)
0%	475	190	1033	689	-	0.65	2.846
15%	475	190	1033	585	55	0.65	2.846
50%	475	190	1033	344	183	0.65	2.846
100%	475	190	1033	-	367	0.65	2.846

Mix design beton memadat sendiri (SCC) menggunakan *superplasticizer* yang berasal dari Sika dengan *density* sebesar 1.085 ± 0.01 kg/L. Kadar *superplasticizer* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.65% dari berat semen. Kadar 0.65% *superplasticizer* didapatkan dari trial 0.4% sampai 0.7%.

4.4 Hasil Pengujian *Slump* Beton Segar

4.4.1 *Slump Flow* dan *T₅₀₀ Slump Time Test*

Keleccakan beton segar diperiksa dengan pengujian *slump* beton segar. Dengan adanya pemeriksaan *slump* ini dapat diperoleh nilai *slump* yang dapat dipakai sebagai tolak ukur keleccakan adukan beton segar yang berhubungan dengan tingkat *workability* atau kemudahan pengerjaan. Pengadukan bahan dilakukan menggunakan molen dengan 5 kali tahap

pencampuran. Hasil uji beton segar untuk masing-masing pengadukan dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil uji *slump* beton normal

No.	Benda Uji	<i>Slump</i> (cm)
1	C0	2.5
2	C15	2.5
3	C50	2
4	C100	1.7
5	Balok C15	2

Penggantian agregat kasar dengan ALWA pada beton normal tidak dapat memperbaiki sifat pengerjaan (*workability*), hal ini dapat dilihat pada hasil uji *slump* yang mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton normal tanpa ALWA. Sedangkan pada beton SCC untuk hasil uji *slump flow* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.22 Hasil uji *flow* SCC

No.	Benda Uji	<i>Slump flow</i> (cm)	<i>T50 Slump time</i> (s)
1	SCC0	66	2.15
2	SCC15	65	2.85
3	SCC50	90	1.67
4	SCC100	76	1.92
5	Balok SCC15	65	2.71

Hasil uji *slump flow* pada SCC0 dan SCC15 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan ALWA sebesar 15% dapat mengurangi diameter *slump flow* dengan hasil dari keduanya masih sesuai dengan standar EFNARC dimana batas *slump flow* yang diizinkan antara 65 sampai 80 cm. Sedangkan hasil *slump flow* pada SCC50 dan SCC100 mengalami kegagalan karena terjadi pemisahan antara agregat kasar dan halus. Serta untuk hasil *slump time T₅₀* SCC50 dan SCC100 tidak memenuhi persyaratan dimana menurut EFNARC, beton segar SCC disyaratkan memiliki nilai *slump time T₅₀* dari 2 hingga 5 detik. Untuk lebih jelasnya gambar *slump flow* dapat dilihat pada gambar berikut:



Slump flow SCC0



Slump flow SCC15



Slump flow SCC50



Slump flow SCC100

Gambar 4.4 *Slump flow SCC*

Pengujian beton segar juga mencakup pengujian *V-funnel* dan *L-box*, untuk hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil uji *V-funnel*, *L-box* dan *Segregation Resistance*

No.	Benda Uji	V-funnel (s)	L-box	Segregation Resistance (%)
1	SCC0	6.05	0.91	11.4
2	SCC15	7.05	0.86	14.5
3	SCC50	10.44	0.21	26.5
4	SCC100	Tidak mengalir	Tidak mengalir	33.9
5	Balok SCC15	7.01	0.85	14.9

Hasil dari pengujian ini mengacu kepada EFNARC 2005. Hasil pengujian *V-funnel* didapatkan komposisi campuran 0%, 15%, dan 50% memenuhi persyaratan yang ada dimana syarat beton mengalir melalui corong V membutuhkan waktu 6 sampai 12 detik. Sedangkan pada pengujian *L-box* hanya komposisi 0% dan 15% yang memenuhi ketentuan

dimana nilai perbandingan H2/H1 harus berkisar antara 0.8 sampai 1. Ketahanan segregasi yang ditunjukkan oleh SCC0 dan SCC15 masih dikatakan stabil karena memenuhi persyaratan dimana syarat *sieve portion* tidak boleh lebih dari 20%. Pemisahan antara agregat kasar dan halus pada kadar ALWA 50% dan 100% disebabkan karena ALWA yang dilapisi (coating) dengan permukaan mortar memiliki sifat daya serap tinggi, sehingga semakin banyak ALWA yang digunakan pada SCC semakin rendah tingkat *workability*.

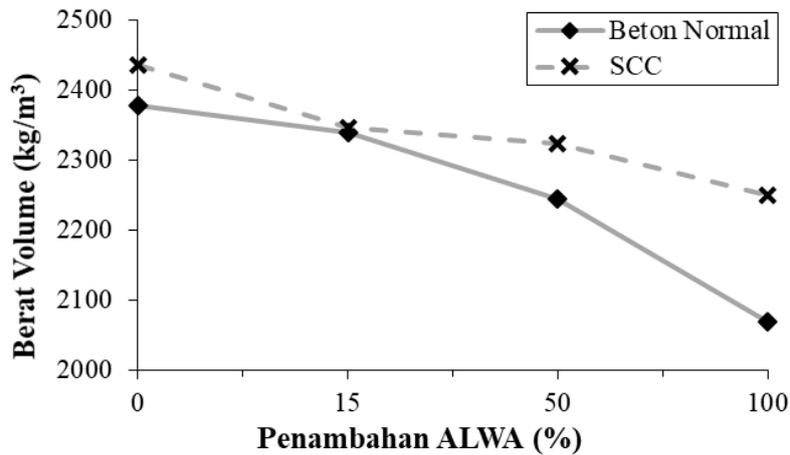
4.5 Berat Volume Silinder Beton

Berat volume yang ditampilkan dalam tabel adalah berat volume rata-rata dari 6 buah silinder pada setiap *mix design*. Untuk lebih jelasnya nilai berat volume dapat dilihat pada Tabel 4.24:

Tabel 4.24 Berat volume beton normal dan SCC

No.	Benda Uji	Berat (kg)	Volume (m ³)	Berat volume (kg/m ³)
Beton Normal				
1	C0	3.73	0.00157	2376.71
2	C15	3.68		2339.58
3	C50	3.53		2244.08
4	C100	3.25		2069.01
Beton Memadat Sendiri (SCC)				
5	SCC0	3.83	0.00157	2435.07
6	SCC15	3.68		2344.88
7	SCC50	3.65		2323.66
8	SCC100	3.53		2249.39

Tabel 4.24 menunjukkan berat volume pada beton SCC dengan penggunaan ALWA 0%, 15%, 50%, dan 100% lebih besar daripada berat volume pada beton normal. Hal ini terjadi karena *superplasticizer* pada SCC berfungsi mengurangi kebutuhan air dan menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen, dengan pengurangan pemakaian air dan kemampuan menyebarkan partikel semen dalam adukan beton segar, maka kepadatan beton yang dihasilkan lebih baik sehingga berat volume SCC lebih tinggi dari beton normal. Hubungan antara berat volume pada beton normal dan SCC dengan variasi penambahan ALWA ditampilkan dalam bentuk grafik seperti berikut ini:



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara berat volume beton normal dan SCC dengan variasi penambahan ALWA

Gambar 4.5 menunjukkan semakin tinggi penambahan ALWA maka berat volume beton akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena berat jenis ALWA berbahan dasar *styrofoam* memiliki berat jenis yang lebih kecil jika dibandingkan dengan batu pecah, dimana berat jenis ALWA yaitu sebesar 1.190 sedangkan berat jenis batu pecah yang digunakan sebesar 2.669, oleh karena itu semakin banyak ALWA yang digunakan pada beton maka berat volumenya akan semakin kecil. Menurut ASTM C330 - 04 berat volume dapat dikatakan beton ringan apabila beratnya tidak lebih dari 1840 kg/m³. Dari hasil pengujian berat volume yang disajikan pada pada Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa semua benda uji beton normal dan SCC tidak ada yang memenuhi persyaratan tersebut karena berat volumenya berada di atas 1840 kg/m³, tetapi berat volume pada beton normal dengan penggunaan ALWA 100% mampu mengurangi berat volume hingga 13.21% dari beton normal tanpa ALWA.

4.6 Hasil Pengujian Beton Normal dan Beton Memadat Sendiri (SCC)

4.6.1 Kekuatan Tekan Silinder Beton

4.6.1.1 Beton Normal

Pengujian kekuatan tekan pada beton normal dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Langkah-langkah pengujian dan analisis kekuatan tekan dilakukan berdasarkan ASTM C 39/C 39M – 03. Untuk hasil pengujian kekuatan tekan pada beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil pengujian kekuatan tekan beton normal

No.	Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Luas Permukaan (mm^2)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	C0-4	175285.99	7853.98	22.32	
2	C0-5	233999.91	7853.98	29.79	22.71
3	C0-6	181486.10	7853.98	23.11	
1	C15-4	158194.91	7853.98	20.14	
2	C15-5	183214.08	7853.98	23.33	21.13
3	C15-6	156539.61	7853.98	19.93	
1	C50-4	157650.70	7853.98	20.07	
2	C50-5	157605.36	7853.98	20.07	19.39
3	C50-6	141722.49	7853.98	18.04	
1	C100-4	126834.30	7853.98	16.15	
2	C100-5	133253.17	7853.98	16.97	16.56
3	C100-6	99355.81	7853.98	12.65	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi penambahan ALWA maka kekuatan tekan yang dihasilkan akan semakin rendah. Penggantian agregat kasar menggunakan ALWA menghasilkan kuat tekan tertinggi pada penambahan ALWA 15% dengan kekuatan tekan yang dihasilkan sebesar 21.13 MPa.

Hasil pengujian kekuatan tekan benda uji C0-5 dianggap tidak memenuhi syarat pengujian dikarenakan memiliki pola retak yang sejajar sumbu tegak atau berupa garis vertikal, hal ini diakibatkan dari permukaan *capping* yang tidak merata. Pola keruntuhan seperti ini termasuk pola keruntuhan *columnar* dan dianggap sebagai bentuk pola retak yang tidak baik sesuai dengan standar ASTM C 39/C 39M – 03 sehingga untuk hasil kuat tekan tingkat akurasi kurangnya. Data yang dianggap error ini tidak

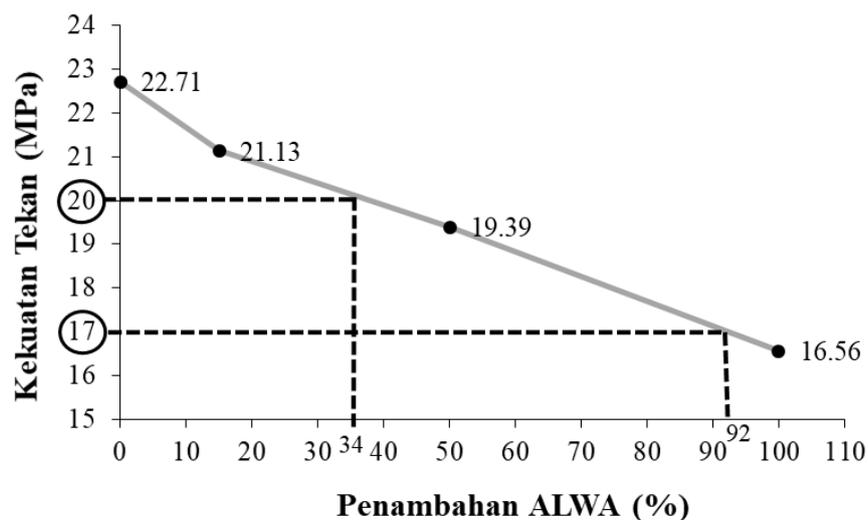
dimasukkan dalam perhitungan rata-rata kuat tekan. Gambar pola retak benda uji C0-5 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pola retak *columnar* benda uji C0-5

Selain benda uji C0-5, benda uji C100-6 termasuk data yang dianggap tidak valid karena permukaan *capping* yang miring mengakibatkan hasil pengujian tidak maksimal. Data yang dianggap tidak valid ini tidak dimasukkan dalam perhitungan rata-rata kuat tekan.

Kekuatan tekan minimum beton tahan gempa tidak boleh kurang dari 20 MPa sedangkan untuk beton struktural yaitu 17 MPa (SNI 2847:2013). Dari data kekuatan tekan beton normal yang didapat maka dapat diketahui kadar penggunaan ALWA yang tepat untuk kekuatan beton tahan gempa dan struktural. Korelasi antara nilai kekuatan tekan beton normal dan kadar penggunaan ALWA ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik kebutuhan ALWA untuk kekuatan tekan 20 MPa dan 17 MPa pada beton normal

Hasil pengujian kekuatan tekan dari semua kadar ALWA yang didapatkan diplot dan dihubungkan dalam satu garis lurus, sehingga untuk mencapai kekuatan tekan 20 MPa didapatkan kadar penggunaan ALWA pada beton normal yaitu sebesar 34% ALWA dan 92% ALWA untuk mencapai kekuatan tekan 17 MPa.

Berdasarkan data pengujian kekuatan tekan pada beton normal untuk kadar penggunaan ALWA 0%, 15%, 50% dan 100% diperoleh suatu persamaan kekuatan tekan sebagai berikut:

$$\frac{f'_{ca}}{f'_c} = (1 + Pa)^c \quad (4.1)$$

$$c = \ln(x) - 4 \quad (4.2)$$

dengan:

f'_{ca} = tegangan maksimum beton ALWA (MPa)

f'_c = tegangan beton tanpa ALWA (MPa)

Pa = persentase ALWA (%)

c = *curve factor*

4.6.1.2 Beton Memadat Sendiri (SCC)

Pengujian kekuatan tekan pada beton memadat sendiri dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Langkah-langkah pengujian dan analisis kekuatan tekan dilakukan berdasarkan ASTM C 39/C 39M – 03. Hasil pengujian kekuatan tekan beton memadat sendiri (SCC) dapat dilihat pada Tabel 4.26:

Tabel 4.26 Hasil pengujian kekuatan tekan SCC

No.	Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Luas Permukaan (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	SCC0-4	263236.34	7853.98	33.52	
2	SCC0-5	259063.42	7853.98	32.98	33.25
3	SCC0-6	329199.40	7853.98	41.91	
1	SCC15-4	232906.09	7853.98	29.65	
2	SCC15-5	218697.03	7853.98	27.85	28.33
3	SCC15-6	216015.32	7853.98	27.50	
1	SCC50-4	178848.64	7853.98	22.77	
2	SCC50-5	156303.80	7853.98	19.90	21.24
3	SCC50-6	165356.17	7853.98	21.05	
1	SCC100-4	149706.06	7853.98	19.06	
2	SCC100-5	142937.37	7853.98	18.20	18.99
3	SCC100-6	154739.27	7853.98	19.70	

Berdasarkan Tabel 4.26 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya penggunaan ALWA maka nilai kekuatan tekan yang dihasilkan akan semakin berkurang. Kekuatan tekan tertinggi pada penggantian agregat kasar terjadi pada SCC dengan kadar ALWA sebesar 15% dengan nilai kekuatan tekan 28.33 MPa. Hasil pengujian kekuatan tekan ini menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015) dimana semakin besar peningkatan EPS yang digunakan pada *Self Compacting Lightweight Concrete* maka akan semakin kecil nilai kekuatan tekannya.

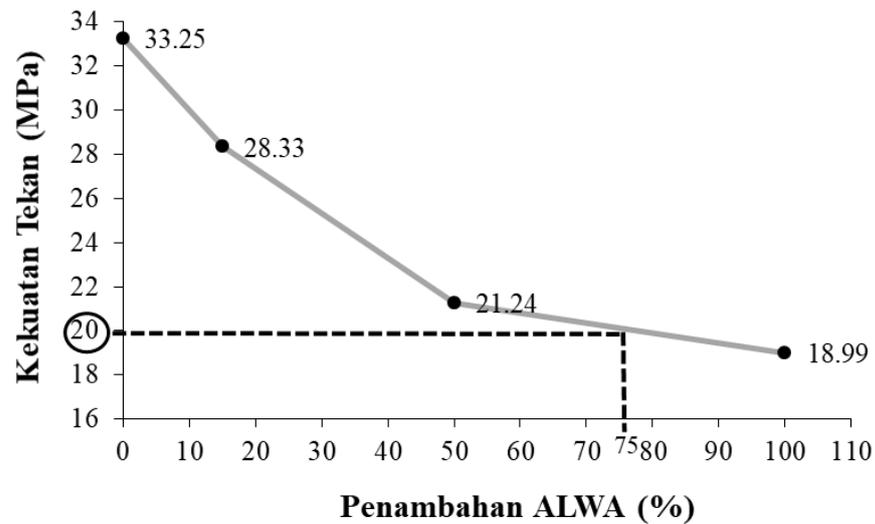
Hasil pengujian kekuatan tekan benda uji SCC0-6 dianggap sebagai data yang tidak valid dikarenakan nilai pengujian yang berbeda jauh dengan benda uji SCC0-4 dan SCC0-5, perbedaan nilai yang jauh ini disebabkan karena pola retak yang terbentuk ketika pengujian tidak sesuai dengan standar ASTM C 39/C 39M - 03, retakan yang terjadi diawali dengan garis vertikal dari berbagai sisi diameter bagian atas kemudian menjalar lurus ke bawah. Pola retak seperti ini termasuk sebagai pola retak *columnar* yang menunjukkan adanya gesekan yang terjadi pada pelat tepi dan benda uji sehingga terjadi kesalahan dalam hasil pengujian. Oleh karena itu untuk hasil data benda uji SCC0-6 tidak dimasukkan ke dalam

perhitungan rata-rata kekuatan tekan. Gambar pola retak benda uji SCC0-6 ditampilkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pola retak *columnar* benda uji SCC0-6

Kadar penggunaan ALWA yang tepat untuk syarat kekuatan tekan beton tahan gempa dan beton struktural dapat diketahui dari data kekuatan tekan SCC yang sudah didapat. Hubungan antara nilai kekuatan tekan SCC dan kadar penggunaan ALWA dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik kebutuhan ALWA untuk kekuatan tekan 20 MPa dan 17 MPa pada SCC

Dari gambar grafik diatas didapatkan kadar penggunaan ALWA untuk mencapai kekuatan tekan 20 MPa pada beton SCC yaitu sebesar 75% ALWA sedangkan untuk mencapai syarat kekuatan tekan beton struktural didapatkan penggunaan 100% ALWA.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan dengan kadar penggunaan ALWA sebesar 0%, 15%, 50% dan 100% sebagai pengganti

agregat kasar pada beton memadat sendiri (SCC) diperoleh suatu persamaan kekuatan tekan sebagai berikut:

$$\frac{f'_{ca}}{f'_c} = (1 + Pa)^c \quad (4.3)$$

$$c = \ln(x) - 5 \quad (4.4)$$

dengan:

f'_{ca} = tegangan maksimum beton ALWA (MPa)

f'_c = tegangan beton tanpa ALWA (MPa)

Pa = persentase ALWA (%)

c = *curve factor*

4.6.2 Modulus Elastisitas Silinder Beton

Pengujian modulus elastisitas pada beton normal dan SCC dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Untuk hasil pengujian modulus elastisitas pada beton normal dan SCC dapat dilihat pada tabel berikut.

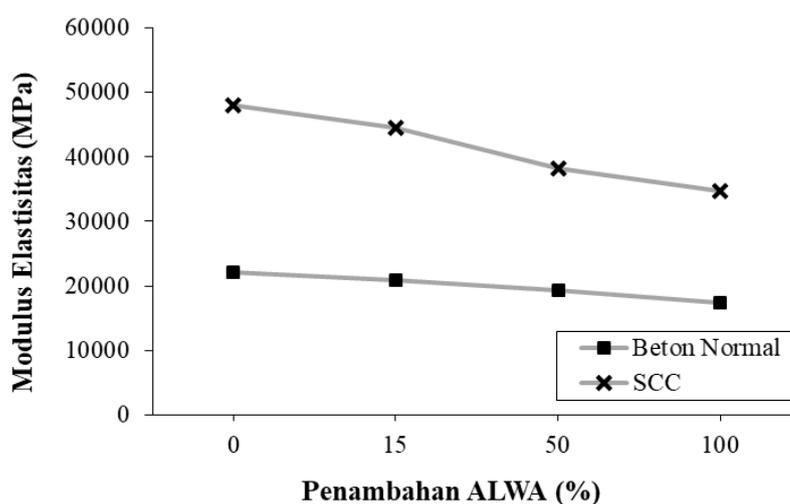
Tabel 4.27 Hasil pengujian modulus elastisitas beton normal

No.	Benda Uji	Tegangan (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	C0-4	10.043	0.00046	21658.40	22031.53
2	C0-6	10.398	0.00046	22404.65	
1	C15-4	9.063	0.00043	20856.06	20843.99
2	C15-5	10.497	0.00048	22017.83	
3	C15-6	8.969	0.00046	19658.08	
1	C50-4	9.032	0.00046	19488.62	19286.57
2	C50-5	9.030	0.00047	19151.90	
3	C50-6	8.120	0.00042	19219.17	
1	C100-4	7.267	0.00044	16542.23	17332.46
2	C100-5	7.634	0.00042	18122.69	

Tabel 4.28 Hasil pengujian modulus elastisitas SCC

No.	Benda Uji	Tegangan (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	SCC0-4	15.082	0.00060	25229.18	25998.72
2	SCC0-5	14.843	0.00055	26768.26	
1	SCC15-4	13.344	0.00056	24041.08	23717.77
2	SCC15-5	12.530	0.00051	24372.69	
3	SCC15-6	12.376	0.00054	22739.55	
1	SCC50-4	10.247	0.00054	18829.47	18954.01
2	SCC50-5	8.955	0.00052	17160.11	
3	SCC50-6	9.474	0.00045	20872.44	
1	SCC100-4	8.577	0.00049	17657.23	17346.44
2	SCC100-5	8.189	0.00050	16288.42	
3	SCC100-6	8.865	0.00049	18093.68	

Menurut ACI 318-08 modulus elastisitas diambil ketika 45% dari tegangan maksimum. Pada Tabel 4.27 dan 4.28 dapat dilihat bahwa semakin banyak ALWA yang digunakan dalam campuran beton maka semakin kecil nilai regangannya. Korelasi antara nilai modulus elastisitas dan penambahan ALWA disajikan dalam Grafik 4.10.



Gambar 4.10 Grafik korelasi antara modulus elastisitas dengan penambahan ALWA pada beton normal dan SCC.

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak ALWA yang digunakan dalam campuran beton normal dan SCC maka nilai modulusnya semakin kecil. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Nenni Simamora dan Mukti Hamza (2015) dimana pada penelitiannya dapat

disimpulkan bahwa semakin tinggi jumlah *styrofoam* pada beton maka modulus elastisitasnya juga semakin rendah. Perbedaan nilai modulus elastisitas hasil eksperimen dan teoritis ditampilkan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Nilai modulus elastisitas Eksperimental dan Teoritis

No.	Benda Uji	ME Eksperimental (MPa)	ME Teoritis (MPa)	Selisih Eksperimental dan Teoritis (%)
1	C0	22031.53	22398.40	2%
2	C15	20843.99	21592.25	4%
3	C50	19286.57	20692.18	7%
4	C100	17332.46	19123.38	10%
1	SCC0	25998.72	27101.56	4%
2	SCC15	23717.77	25014.79	5%
3	SCC50	18954.01	21653.67	14%
4	SCC100	17346.44	20477.39	18%

Tabel 4.29 menunjukkan hasil pengujian modulus elastisitas pada beton normal secara eksperimental tidak berbeda jauh dengan modulus elastisitas secara teoritis, dapat dilihat dari selisih yang paling tinggi terjadi pada C100 dengan selisih sebesar 10%. Hal ini berbeda dengan SCC, dapat dilihat selisish nilai modulus elastisitas secara eksperimental dengan teoritis pada SCC100 berbeda sebesar 18%.

4.6.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

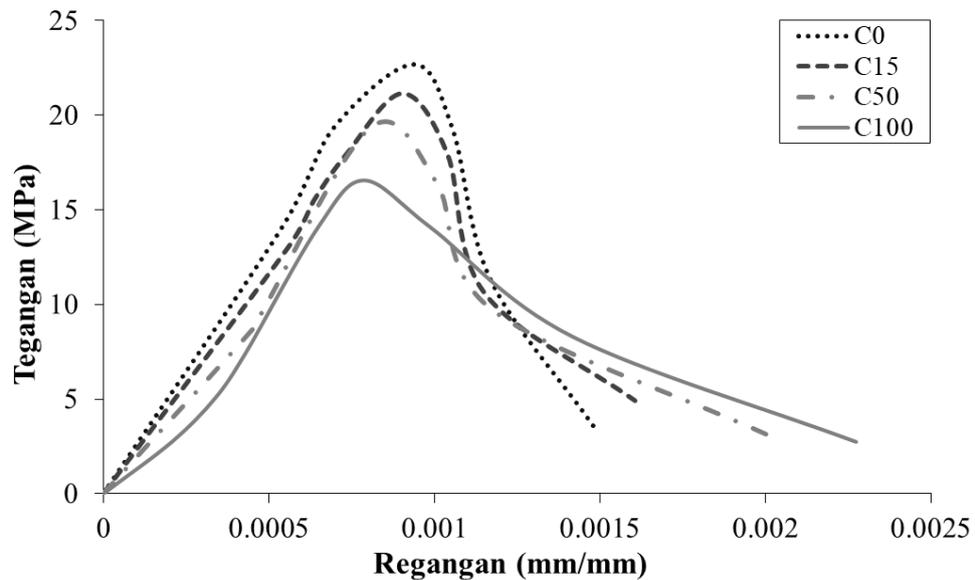
A. Beton Normal

Untuk menilai tingkat daktilitas beton digunakan nilai regangan yang terjadi dari bagian kurva yang turun setelah puncak. Untuk menggambarkan kurva yang turun maka digunakan 2 titik yaitu $0.85f_c$ dan $0.5f_c$. Menurut Kent and Park (1974) kemiringan setelah titik puncak ditentukan oleh regangan ketika tegangannya telah jatuh di $0.5f_c$. Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.30 Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton normal

No.	Benda Uji	Tegangan			Regangan		
		$0.50 f_c$ (MPa)	$0.85 f_c$ (MPa)	f_c maks (MPa)	ϵ $0.50 f_c$	ϵ $0.85 f_c$	ϵ f_c maks
1	C0	11.356	19.306	22.713	0.00104	0.00099	0.00094
2	C15	10.567	17.964	21.134	0.00115	0.00104	0.00090
3	C50	9.697	16.486	19.395	0.00118	0.00101	0.00081
4	C100	8.279	14.074	16.558	0.00142	0.00099	0.00079

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai regangan $0.5f_c$ pada benda uji C0 yaitu 0.00104, dimana nilai regangan ini lebih kecil dibandingkan nilai regangan pada benda uji C100 yaitu sebesar 0.00142. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak ALWA yang digunakan maka nilai regangannya semakin besar, sehingga menunjukkan tingkat daktilitas yang lebih baik. Untuk lebih jelasnya nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton normal dapat dilihat pada Grafik 4.11.



Gambar 4.11 Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton normal

Dari Grafik 4.11 dapat dilihat bahwa benda uji C100 memiliki gambar kurva yang lebih landai jika dibandingkan dengan C0, hal ini menunjukkan pada beton tanpa penambahan ALWA memiliki sifat getas sedangkan beton yang menggunakan penambahan ALWA bersifat lebih daktil.

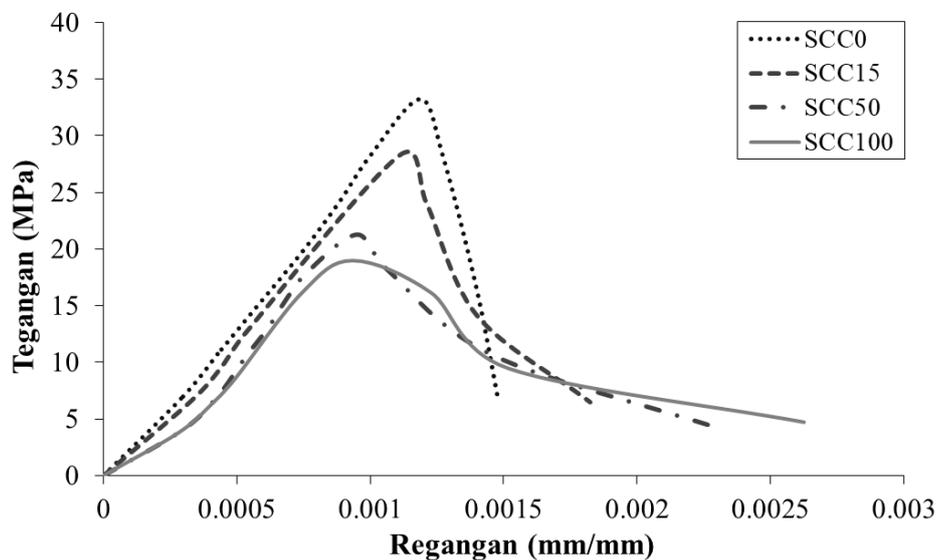
B. Beton Memadat Sendiri (SCC)

Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton SCC dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.31 Nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton SCC

No.	Benda Uji	Tegangan			Regangan		
		$0.50 f_c$ (MPa)	$0.85 f_c$ (MPa)	f_c maks (MPa)	ϵ $0.50 f_c$	ϵ $0.85 f_c$	ϵ f_c maks
1	SCC0	16.625	28.263	33.251	0.00140	0.00127	0.00119
2	SCC15	14.167	24.084	28.335	0.00140	0.00121	0.00111
3	SCC50	10.621	18.056	21.242	0.00146	0.00107	0.00095
4	SCC100	9.494	16.139	18.988	0.00151	0.00123	0.00093

Dari tabel diatas dapat dilihat nilai regangan $0.5f_c$ pada SCC0, SCC15, SCC50 dan SCC100 berturut-turut adalah 0.00140, 0.00140, 0.00146 dan 0.00151, ini menunjukkan semakin banyak ALWA yang digunakan maka akan semakin tinggi tingkat daktilitasnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Grafik 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Grafik nilai tegangan dan regangan di titik puncak, $0.85f_c$ dan $0.5f_c$ pada beton SCC

Grafik 4.12 menunjukkan semakin banyak ALWA yang digunakan maka semakin landai kurva tegangan regangannya. Benda uji SCC0 memiliki tegangan yang lebih tinggi dengan regangan yang lebih rendah

pada $0.5f'_c$ jika dibandingkan dengan SCC100. Ini menunjukkan dengan adanya penambahan ALWA akan meningkatkan daktilitas pada beton.

4.6.4 Formula Tegangan Regangan

Untuk mendiskripsikan perilaku tegangan dan regangan beton unconfined digunakan formula yang didasarkan pada persamaan Popovics S., (1973). Persamaan yang digunakan berdasarkan pada hasil eksperimen sesuai dengan kondisi yang digunakan pada penelitian ini. Berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$f_c = f'_{ca} \times \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}} \times \frac{n}{n-1+(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}})^n} \quad (4.5)$$

$$n = 0.8 + \frac{f'_{ca}}{17} \quad (4.6)$$

dengan:

f_c = tegangan beton

f'_{ca} = tegangan maksimum beton ALWA

ε_c = regangan beton

ε'_{ca} = regangan ketika tegangan maksimum beton ALWA

n = *curve fitting factor*

Persamaan regangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu berdasarkan *China National Standard* (GB 50010-2010). Persamaannya dapat dilihat seperti berikut ini:

$$\varepsilon'_{ca} = 0.002 + 0.5(f'_{ca} - 50) \times 10^{-5} \quad (4.7)$$

Persamaan n yang digunakan sesuai dengan kondisi pada penelitian ini maka diperoleh persamaan n menjadi:

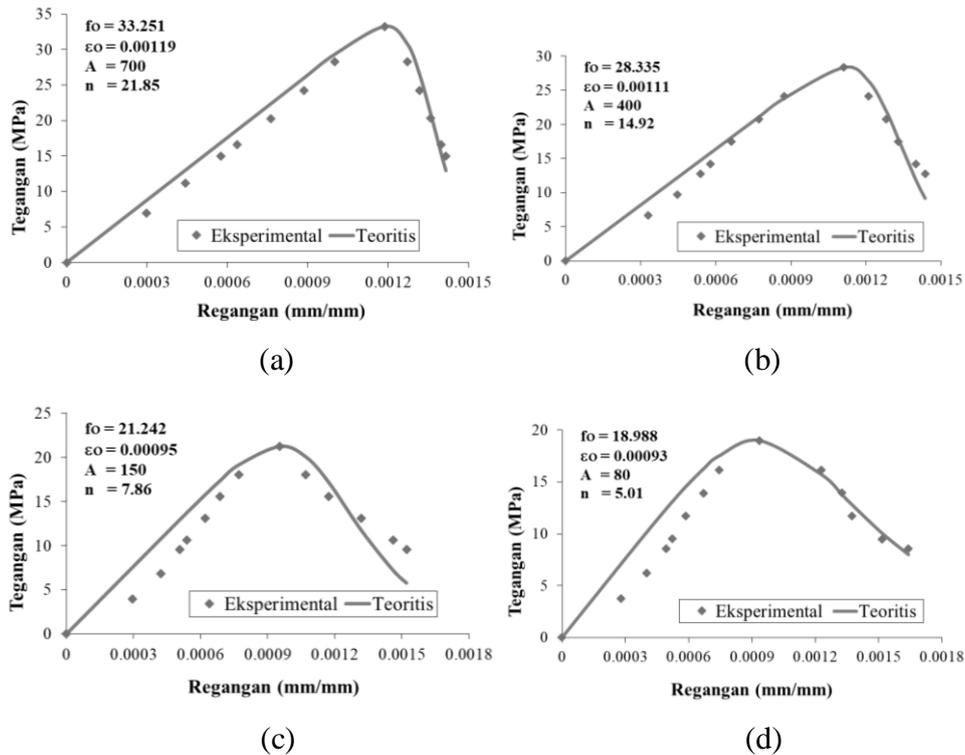
$$n = 0.8 + \frac{a}{f'_{ca}} \quad (4.8)$$

Dimana konstanta a didapat dari hasil *trial and error* sehingga kurva yang terbentuk secara teoritis mendekati dengan kurva hasil eksperimental. Semakin tinggi prosentase ALWA yang digunakan maka nilai konstanta a akan semakin kecil. Untuk rumus n yang digunakan pada masing-masing kadar ALWA dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Nilai n pada beton normal dan SCC

Kadar ALWA	Beton Normal	Beton Memadat Sendiri
0%	$n = 0.8 + \frac{300}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{700}{f'_{ca}}$
15%	$n = 0.8 + \frac{200}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{400}{f'_{ca}}$
50%	$n = 0.8 + \frac{100}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{150}{f'_{ca}}$
100%	$n = 0.8 + \frac{60}{f'_{ca}}$	$n = 0.8 + \frac{100}{f'_{ca}}$

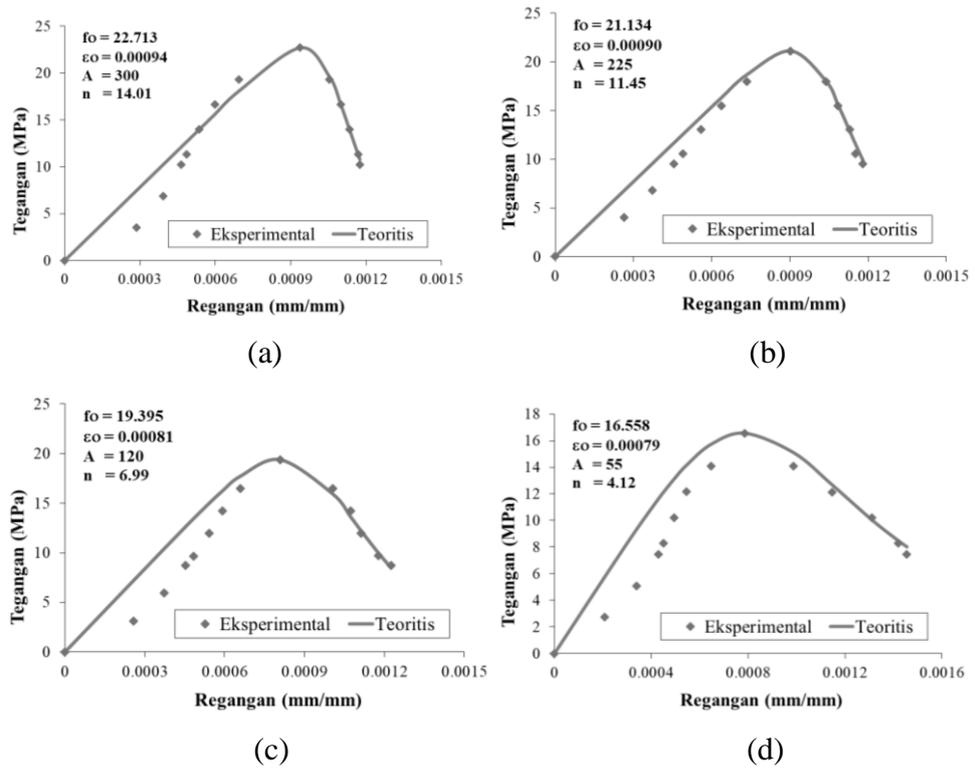
Bentuk kurva hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC dan beton normal dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SSC.

Gambar 4.13 terdiri dari grafik (a) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC0, (b) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC15, (c) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada SCC50 dan (d) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan

eksperimental pada SCC100. Gambar 4.13 menunjukkan bahwa semakin kecil konstanta a maka nilai n semakin kecil dan dapat dilihat semakin banyak kadar ALWA yang digunakan pada beton maka grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis semakin jauh dari grafik hasil eksperimental.



Gambar 4.14 Grafik hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal.

Gambar 4.14 terdiri dari grafik (a) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 0%, (b) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 15%, (c) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 50% dan (d) Hubungan tegangan dan regangan secara teoritis dan eksperimental pada beton normal kadar ALWA 100%. Berdasarkan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa semakin kecil konstanta a maka nilai n semakin kecil tetapi jarak antara kurva teoritis dan kurva eksperimental semakin jauh.

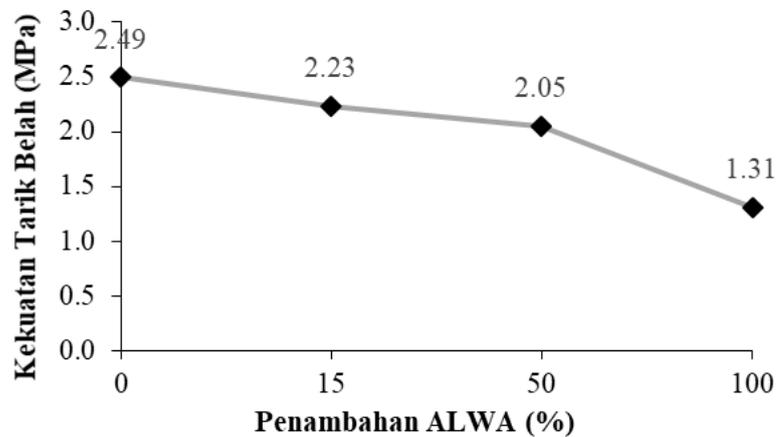
4.6.5 Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton

Nilai kekuatan tarik belah diperoleh dengan melakukan pengujian tekan pada silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya. Hasil kekuatan tarik belah rata-rata pada beton dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.33 Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton normal

No.	Benda Uji	Panjang Benda Uji (mm)	Diameter Benda Uji (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	C0-1			77	2.45	
2	C0-2	200	100	79	2.51	2.49
3	C0-3			79	2.51	
1	C15-1			68	2.16	
2	C15-2	200	100	70	2.23	2.23
3	C15-3			72	2.29	
1	C50-1			69	2.20	
2	C50-2	200	100	66	2.10	2.05
3	C50-3			58	1.85	
1	C100-1			38	1.21	
2	C100-2	200	100	39	1.24	1.31
3	C100-3			46	1.46	

Tabel 4.33 menunjukkan bahwa kekuatan belah tertinggi terjadi pada beton dengan kadar ALWA 0% dengan nilai kekuatan tarik belah sebesar 2.49 MPa. Pada penambahan 15% ALWA dapat mengurangi kekuatan belah sebesar 0.26 MPa atau sebesar 10.64%. Semakin tinggi jumlah ALWA yang ditambahkan pada beton maka semakin rendah nilai kekuatan tarik belah yang dihasilkan. Hasil pengujian kuat tarik belah ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ida Bagus Dharma Giri, dkk (2008) pada beton dengan *styrofoam* bahwa jumlah penggunaan *styrofoam* berpengaruh pada kuat tarik belah. Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan, maka semakin besar penurunan kekuatan tarik belah yang terjadi. Penurunan nilai kekuatan tarik belah dengan variasi penambahan ALWA dapat dilihat pada Gambar 4.15.



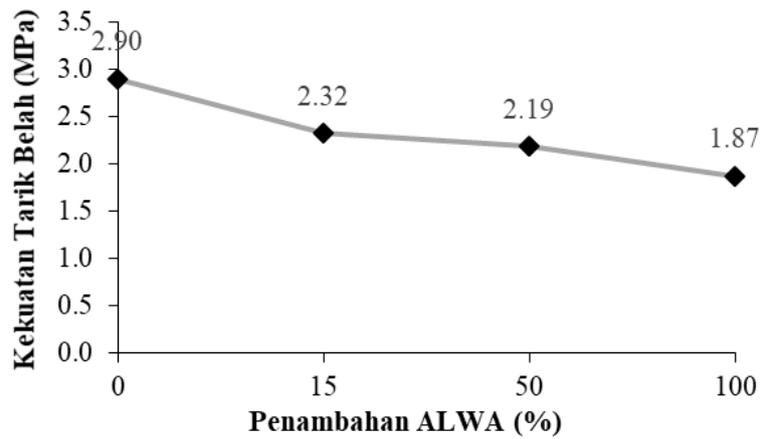
Gambar 4.15 Grafik hubungan antara kekuatan tarik belah beton normal dengan variasi penambahan ALWA

Hasil kekuatan tarik belah rata-rata pada beton SCC dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.34 Hasil pengujian kekuatan tarik belah SCC

No.	Benda Uji	Panjang Benda Uji (mm)	Diameter Benda Uji (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	SCC0-1			85	2.71	
2	SCC0-2	200	100	109	3.47	2.90
3	SCC0-3			79	2.51	
1	SCC15-1			73	2.32	
2	SCC15-2	200	100	70	2.23	2.32
3	SCC15-3			76	2.42	
1	SCC50-1			70	2.23	
2	SCC50-2	200	100	67	2.13	2.19
3	SCC50-3			69	2.20	
1	SCC100-1			57	1.81	
2	SCC100-2	200	100	61	1.94	1.87
3	SCC100-3			58	1.85	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada penambahan 15% ALWA dapat mengurangi kekuatan belah sebesar 0.58 MPa atau sebesar 19.78%. Semakin tinggi jumlah ALWA yang disubstitusi ke dalam beton maka nilai kekuatan tarik semakin rendah. Hubungan antara nilai kekuatan tarik belah dengan variasi penambahan ALWA dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik hubungan antara kekuatan tarik belah SCC dengan variasi penambahan ALWA

Penurunan ini terjadi karena permukaan ALWA yang halus dan kedap air mengakibatkan lekatan dengan pasta tidak baik sehingga ketika silinder terbelah ALWA tidak pecah, seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:



C100-1

SCC100-1

Gambar 4.17 Tampak visual ALWA setelah uji tarik belah

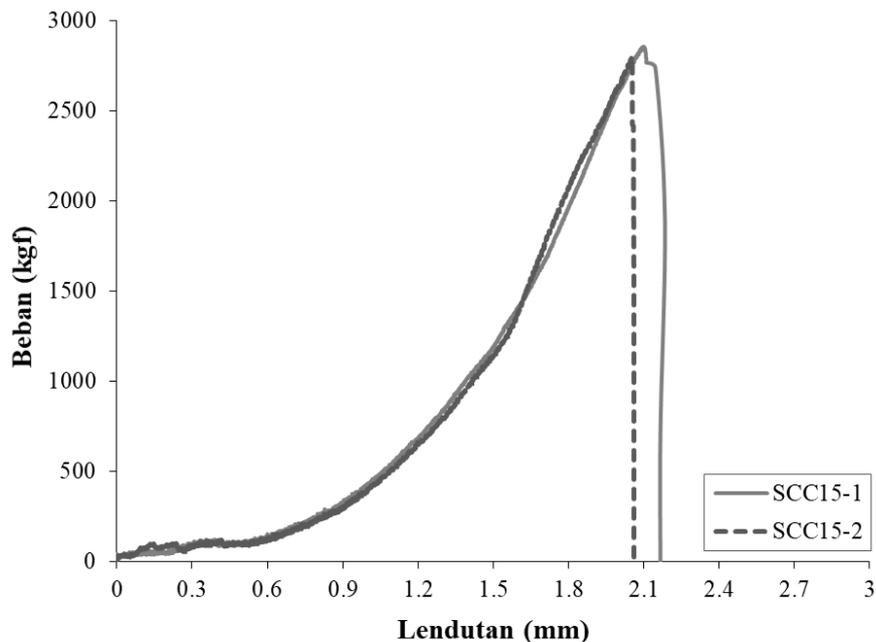
4.6.6 Kekuatan Lentur Balok Beton

Pengujian lentur ini dilakukan setelah mendapatkan nilai optimum kekuatan tekan. Dari hasil pengujian kekuatan tekan didapatkan campuran SCC dengan 15% ALWA merupakan hasil yang paling optimum. Benda uji dibuat sebanyak 2 buah balok beton dengan kode benda uji SCC15-1 dan SCC15-2. Nilai modulus runtuh yang didapatkan dari hasil pengujian disajikan dalam bentuk Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Hasil perhitungan modulus runtuh

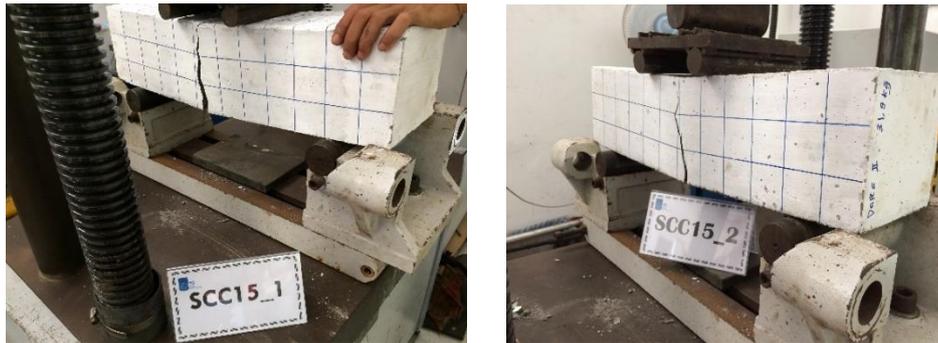
No.	Benda Uji	Dimensi Benda Uji				Beban		Modulus Runtuh (MPa)
		L/3 (mm)	b (mm)	h (mm)	y (mm)	Maksimum (N)	M_{crack} (Nmm)	
1	SCC15-1	200	150	150	75	28583.92	2858392	5.082
2	SCC15-2	200	150	150	75	27994.40	2799440	4.977
Rata-rata						28289.16	2828916	5.029

Karena tidak ada runtuh pertama yang terjadi pada balok maka beban ketika runtuh pertama dianggap sama dengan beban maksimum pada balok. Dari hasil analisis data didapatkan nilai modulus runtuh dari rata-rata kuat tekan 2 benda uji yaitu sebesar 5.029 MPa. Hasil pengujian kekuatan lentur balok beton dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.18 Grafik hubungan antara beban dan lendutan balok

Dari hasil pengujian lentur yang ditampilkan pada Grafik 4.18 dapat dilihat tidak ada runtuh pertama yang terjadi pada balok. Hal ini dikarenakan tidak adanya tulangan pada balok yang menahan gaya geser ataupun lentur sehingga balok akan langsung mengalami runtuh. Berikut adalah gambar benda uji setelah pengujian.



Gambar 4.19 Hasil pengujian kekuatan lentur balok

Untuk menghitung modulus runtuh beton normal secara teoritis digunakan rumus $0.62\sqrt{f'c}$ (SNI 03-2847-2013). Untuk mengetahui koefisien modulus runtuh secara eksperimen dapat diketahui melalui hasil uji kuat lentur. Berikut adalah hasil perhitungan dengan koefisien secara teoritis dan eksperimen.

Tabel 4.36 Hasil perbandingan analisa secara teoritis dan eksperimen

Perbandingan	Koefisien (K)	Kuat Tekan (MPa)	$f_r = k\sqrt{f'c}$ (MPa)	M_{crack} (Nmm)
Teoritis (SNI 2847:2013)	0.62	28.33	3.300	1856405.13
Eksperimen	0.94	28.33	5.029	2828916.00

Dari hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.36 didapat nilai koefisien secara eksperimen sebesar $0.94\sqrt{f'c}$.

4.6.7 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Harga satuan yang digunakan pada rencana anggaran biaya mengacu kepada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Surabaya tahun 2018. Berikut adalah anggaran biaya yang digunakan untuk menghitung kebutuhan beton per m³ pada masing-masing campuran dengan menggunakan 0% ALWA, 15% ALWA, 50% ALWA, dan 100% ALWA. Anggaran biaya pada kebutuhan beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Anggaran biaya kebutuhan beton normal per m³

Kadar ALWA	Material	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
ALWA 0%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	689	Rp 184	Rp 126,739
	ALWA	kg	-	Rp 2,781	-
Jumlah					Rp 1,006,465
ALWA 15%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	585	Rp 184	Rp 107,728
	ALWA	kg	55	Rp 2,781	Rp 153,055
Jumlah					Rp 1,140,509
ALWA 50%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	344	Rp 184	Rp 63,370
	ALWA	kg	183	Rp 2,781	Rp 510,184.55
Jumlah					Rp 1,453,280
ALWA 100%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	-	Rp 184	-
	ALWA	kg	367	Rp 2,781	Rp 1,020,369
Jumlah					Rp 1,900,095

Pada Tabel 4.37 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan 15% ALWA pada beton normal dalam menggantikan agregat kasar (batu pecah) menaikkan biaya sebesar Rp134,044 atau meningkat 13% dari beton yang tidak menggunakan ALWA. Sedangkan untuk penggunaan 100% ALWA dapat menaikkan biaya hingga 89%. Anggaran biaya untuk kebutuhan beton SCC dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Anggaran biaya kebutuhan SCC per m³

Kadar ALWA	Material	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah
ALWA 0%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	689	Rp 184	Rp 126,739
	ALWA	kg	-	Rp 2,781	-
	SP	kg	2.8	Rp 27,650	Rp 78,681
Jumlah					Rp 1,085,146
ALWA 15%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	585	Rp 184	Rp 107,728
	ALWA	kg	55	Rp 2,781	Rp 153,055
	SP	kg	2.8	Rp 27,650	Rp 78,681
Jumlah					Rp 1,219,190
ALWA 50%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	344	Rp 184	Rp 63,370
	ALWA	kg	183	Rp 2,781	Rp 510,185
	SP	kg	2.8	Rp 27,650	Rp 78,681
Jumlah					Rp 1,531,961
ALWA 100%	Semen	kg	475	Rp 1,454	Rp 690,650
	Pasir	kg	1033	Rp 183	Rp 189,076
	Batu Pecah	kg	-	Rp 184	-
	ALWA	kg	367	Rp 2,781	Rp 1,020,369
	SP	kg	2.8	Rp 27,650	Rp 78,681
Jumlah					Rp 1,978,776

Biaya penggunaan ALWA 15% pada beton SCC meningkat 12% dari beton SCC tanpa ALWA. Sedangkan untuk penggunaan 100% ALWA biaya meningkat sebesar 82% atau sebanyak Rp893,630. Jadi untuk *mix design* ini pada penggunaan ALWA sebesar 15% biaya yang dikeluarkan untuk membuat beton SCC lebih mahal daripada beton normal yaitu sebesar 7% atau Rp78,680.80 tetapi kuat tekan yang dihasilkan lebih tinggi yaitu meningkat sebesar 7.2 MPa atau 34% dari beton normal.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan pada beton normal dan SCC berkurang seiring dengan peningkatan jumlah ALWA yang digunakan. Penggantian agregat kasar pada beton normal dan SCC menghasilkan kuat tekan tertinggi pada penambahan ALWA 15% dengan kuat tekan yang dihasilkan beton normal sebesar 21.13 MPa dan pada SCC sebesar 28.33 MPa.
2. Semakin tinggi jumlah ALWA yang digunakan pada beton maka semakin rendah berat volume, kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton.
3. Nilai modulus runtuh dari beton memadat sendiri (SCC) dengan kadar 15% ALWA yaitu sebesar 5.029 MPa.
4. Semakin banyak ALWA yang digunakan dalam campuran beton maka semakin besar nilai regangannya. Ini menunjukkan penggunaan ALWA pada beton menjadikan beton lebih daktail.
5. Semakin tinggi jumlah ALWA yang digunakan pada beton memadat sendiri (SCC) maka tingkat *workability* semakin rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat diperoleh untuk peneliti selanjutnya sebagai berikut:

1. Berat jenis ALWA untuk beton memadat sendiri (SCC) harus dipastikan lebih besar dari berat jenis pasta.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perilaku ALWA terhadap pengujian rangkai dan susut.
3. Perlu dilakukan pengujian resapan air terhadap ALWA *coating*.

4. Kadar ALWA yang digunakan pada beton SCC sebagai pengganti agregat kasar harus kurang dari 50% karena terjadi pemisahan antara agregat kasar dan halus ketika pengujian beton segar 50% dan 100% ALWA.

DAFTAR PUSTAKA

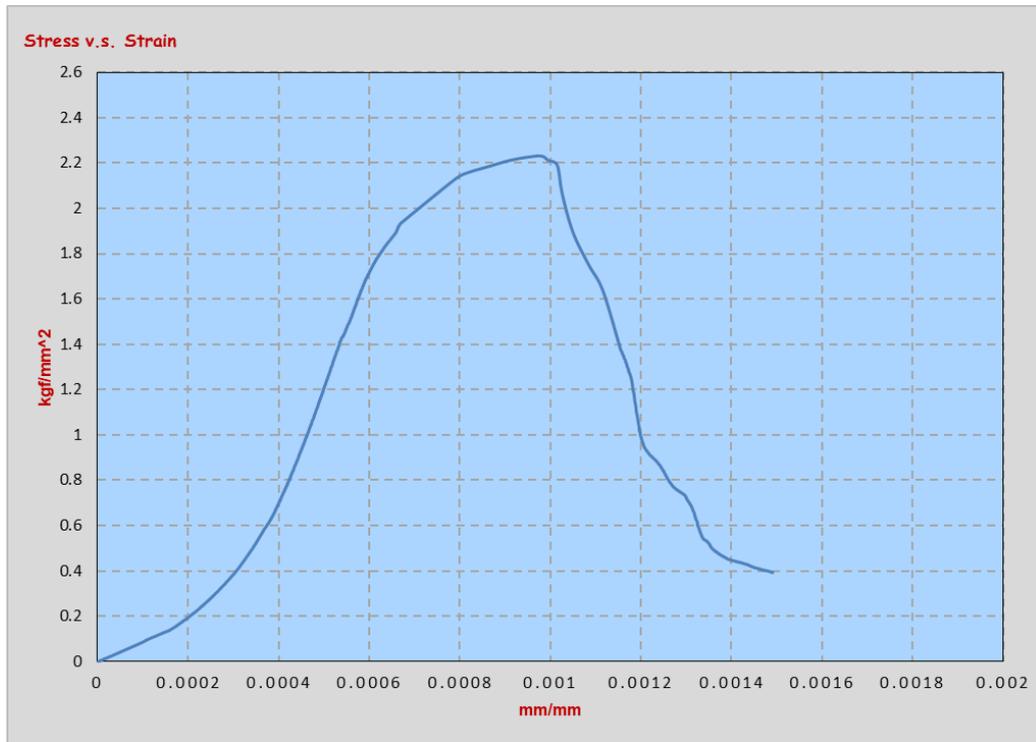
- A.A. Maghsoudi, Sh. Mohamadpour, M. Maghsoudi (2011), *Mix design and Mechanical Properties of Self Compacting Lightweight Concrete*, International Journal of Civil Engineering, Vol. 9, No. 3, hal. 230-236.
- ACI Committee 211.2 (1998), *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*, American Concrete Institute, United States of America.
- ACI Committee 318M (2014), *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, United States of America.
- Ari Diana Susanti, dkk (2012), *Polaritas Pelarut Sebagai Pertimbangan dalam Pemilihan Pelarut untuk Ekstraksi Minyak Bekatul dari Bekatul Varietas Ketan (Oriza Sativa Glatinosa)*, Simposium Nasional RAPI XI FT Universitas Sebelas Maret.
- Aris Sutrisno Slamet Widodo, M.T., *Analisis Variasi Kandungan Semen terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Struktural Agregat Pumice*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Attaullah Hajati Modaraei, Rahmatmadandoust and Bijan Bijan Nesaz (2015), *Properties of Fresh Lightweight Self-Compacting Concrete Containing Eps Beads*, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, Vol. 5, hal. 2706-2713.
- ASTM C 29/C 29M - 97 (Reapproved 2003), *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, United States.
- ASTM C 33 (2003), *Standard Specification for Concrete Aggregates*, United States.
- ASTM C 39/C 39M (2003), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United States.
- ASTM C 40 (2004), *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*, United States.
- ASTM C 78 (2002), *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, United States.

- ASTM C 117 (2003), *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*, United Stated.
- ASTM C 127 - 88 (Reapproved 2001), *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*, United Stated.
- ASTM 128 (2001), *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, United Stated.
- ASTM C 131 (2003), *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*, United Stated.
- ASTM C 136 (2001), *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, United Stated.
- ASTM C 330 (2004), *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*, United Stated.
- ASTM C 496/C 496M (2004), *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United Stated.
- ASTM C 566-97 (Reapproved 2004), *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, United Stated.
- ASTM C 567 (2000), *Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete*, United Stated.
- Behnam Vakhshouri dan Shami Nejadi (2016), *Mix Design of Light-Weight Self-Compacting Concrete*, Centre for Built Infrastructure Research (CBIR).
- British Standard 812 (1990), *Methods for Determination of Aggregate Impact Value (AIV)*, Part 112, British Standards Institution, London
- Budhianto (1997), *Penggunaan Styrofoam sebagai bahan Pengganti Agregat Kasar untuk Mendapatkan Beton Ringan*, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- EFNARC (2002), *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, English ed. Norfolk, UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- EFNARC (2005), *the European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, English ed. Norfolk, UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

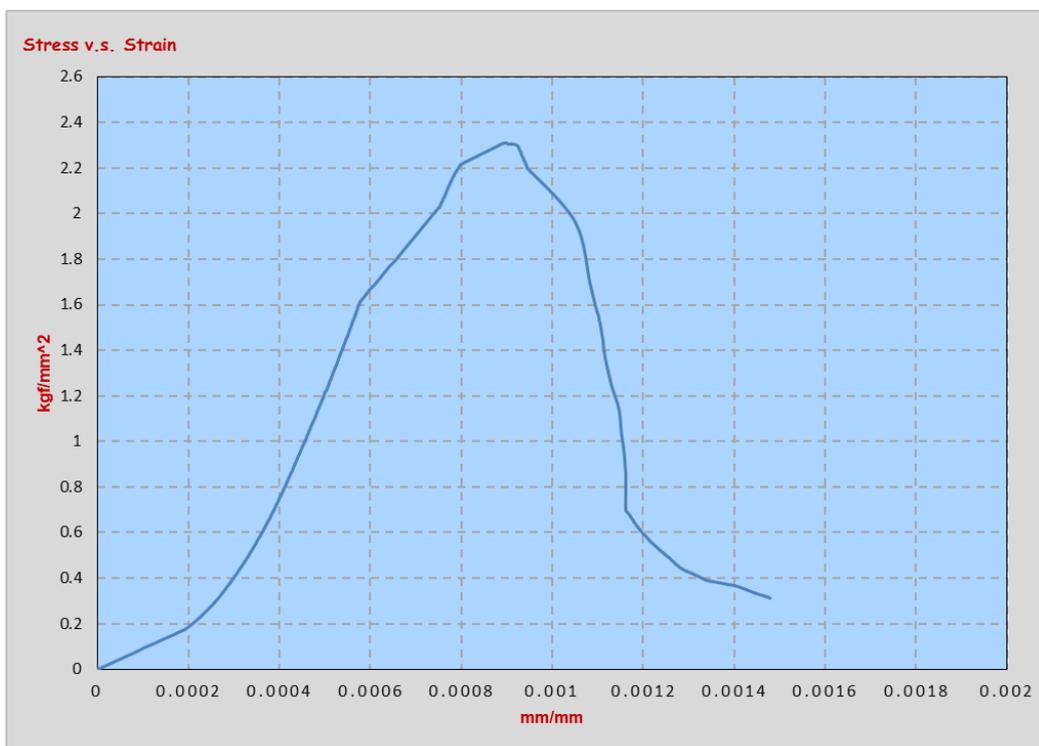
- Ernawati Sri S. dan Taufiq Lilo Adi S. (2014), *Tinjauan Penambahan Limbah Styrofoam dan Fly Ash terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Ringan Struktural*, JIPTEK, Vol.7, No.2, hal. 9-16.
- H Azamirad and D Beheshti Zadeh (2005), *A criticism of Self Compacting Concrete*, Singapore Concrete Institute.
- I.B. Dharma Giri, I Ketut Sudarsana, N.L.P. Eka Agustiningih (2008), *Kuat Tarik Belah dan Lentur Beton dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 12, No. 2, hal 96-104.
- I.B. Dharma Giri, I Ketut Sudarsana, dan Ni Made Tutarani (2008), *Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 12, No.1, hal. 75-85.
- Malek Mohammad Ranjbar dan S. Yasin Mousavi (2015), *Strength and Durability Assessment of Self-compacted Lightweight Concrete Containing Expanded Polystyrene*, University of Guilan, Iran, hal. 1001-1011.
- Mariani, Victor Sampebulu, Abdul Gani Ahmad (2009), *Pengaruh Penambahan Admixture terhadap Karakteristik Self Compacting Concrete (SCC)*, SMARTek, Vol. 7, No.3, hal. 176-183.
- Muhammad Wihardi Tjaronge (2005), *Studi Dasar Mengenai Beton yang Menggunakan Agregat Buatan yang Ringan Sebagai Agregat Kasar*, Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 13, No. 1, hal. 88-95.
- National Standard of People's Republic of China (2010), *Code for Design of Concrete Structures GB50010*, Beijing.
- Neni Simamora dan Mukti Hamza Harahap (2015), *Pengaruh Penambahan Styrofoam dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan*, Jurnal Einstein, hal.15-22.
- Papanicolaou Catherine dan Michael I. Kaffetzakis (2011), *Lightweight Aggregate Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art & Pumice Application*, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 9, No. 1, hal. 15-29.
- Popovics S., (1973), *A Numerical Approach to the Complete Stress-strain Curve of Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 3, No. 5, hal. 583-599.
- R. Park and K.J. Thompson (1974), *Behaviour of Prestressed, Partially Prestressed and Reinforced Concrete Interior Beam-Column Assemblies under Cyclic Loading*, University of Canterbury, hal 42

- Reni Suryanita, Iskandar Romey Sitompul, Zunwanis (2014), *Karakteristik Kuat Lentur Beton Ringan Akibat Penambahan Styrofoam pada Desain Campuran Beton*, Jurnal Sains dan Teknologi, ISSN 1412-6257, hal. 16-22.
- SNI 03-2461 (2002), *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural*, Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- SNI 2847 (2013), *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- SNI 3402 (2008), *Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural*, Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- Vivek dan Bhavana B. (2015), *Experimental Investigation on Properties of Self-Compacting and Self-Curing Concrete with Silica Fume and Light Weight Aggregates*, International Journal of Engineering Research & Technology, ISSN: 2278-0181, Vol. 4, hal. 203-210.

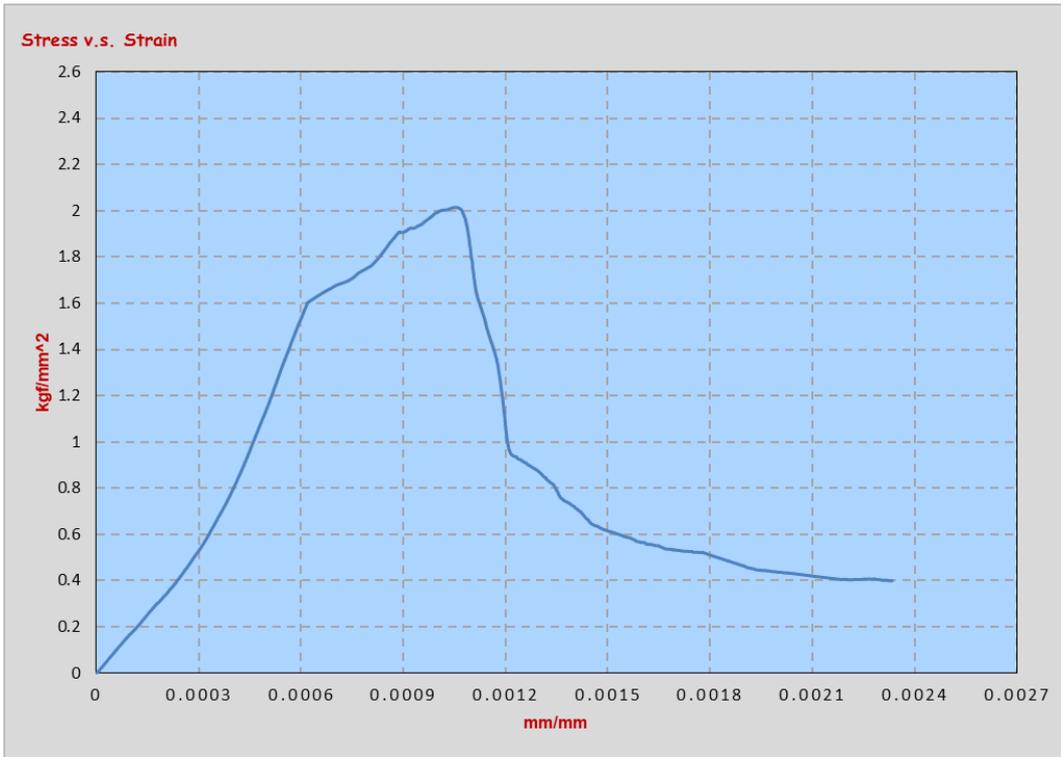
HASIL PENGUJIAN KEKUATAN TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON NORMAL



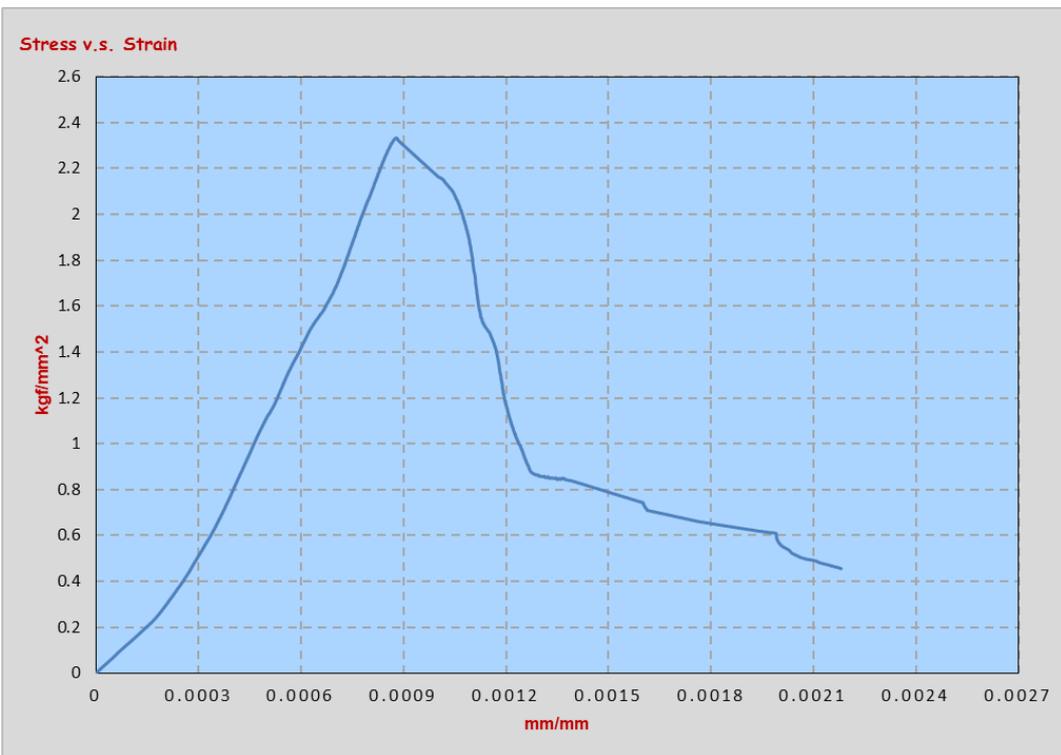
C0-4



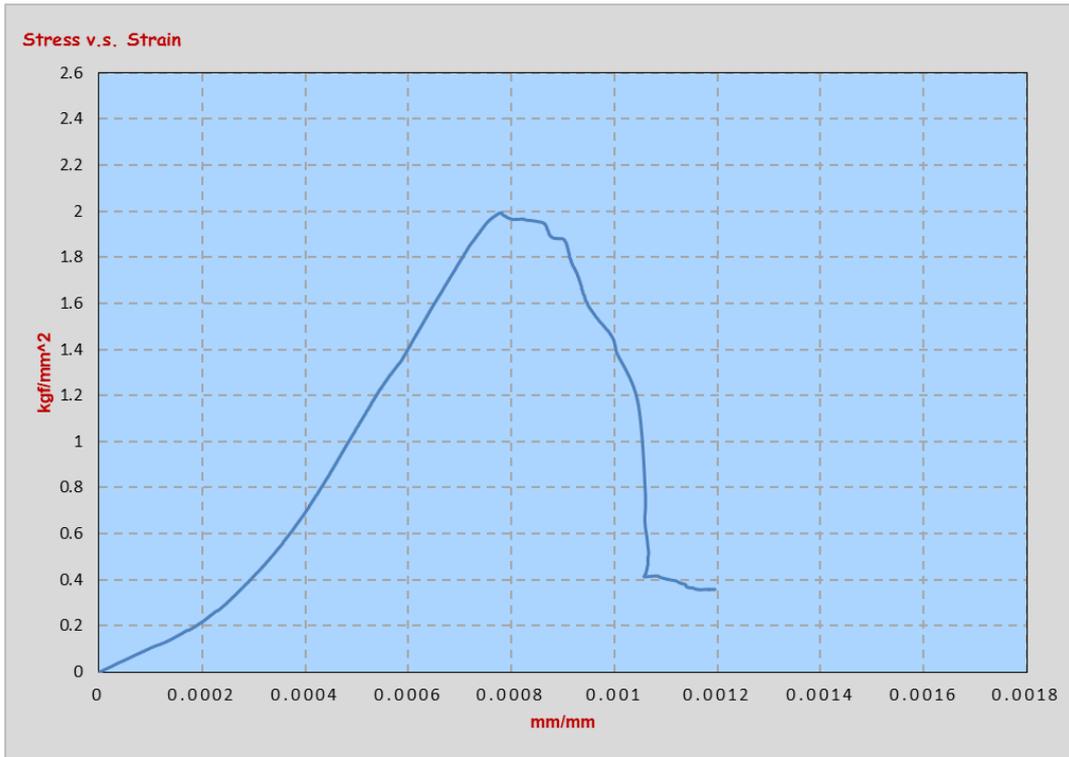
C0-6



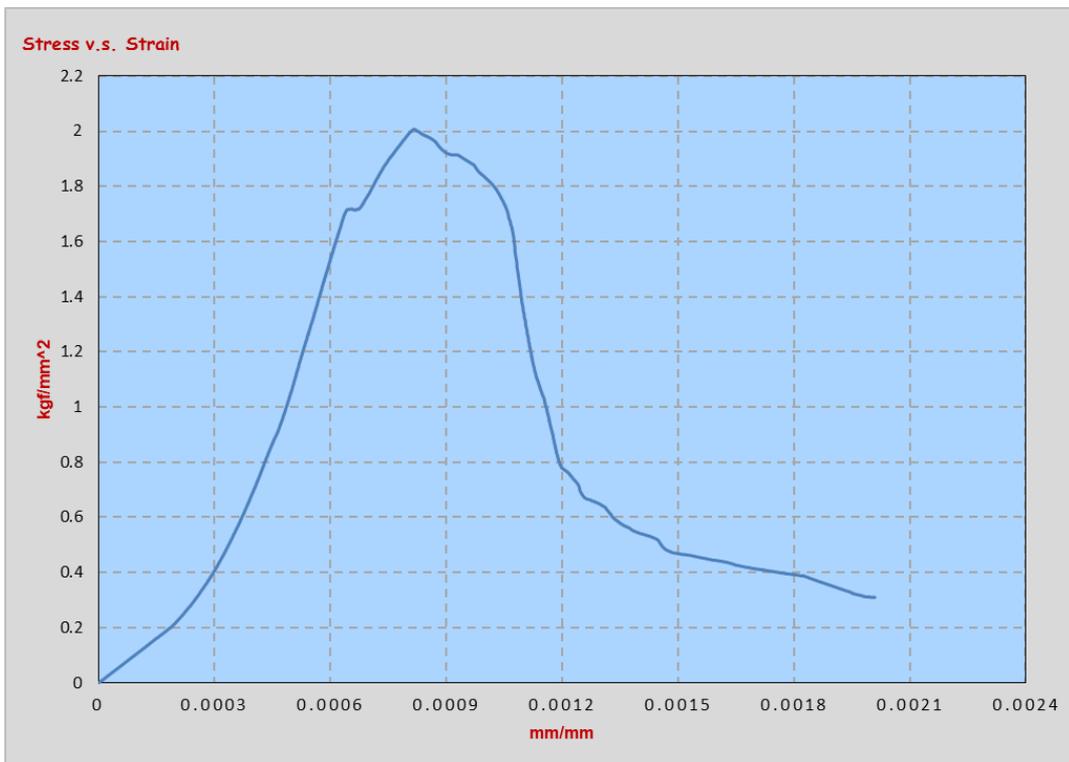
C15-4



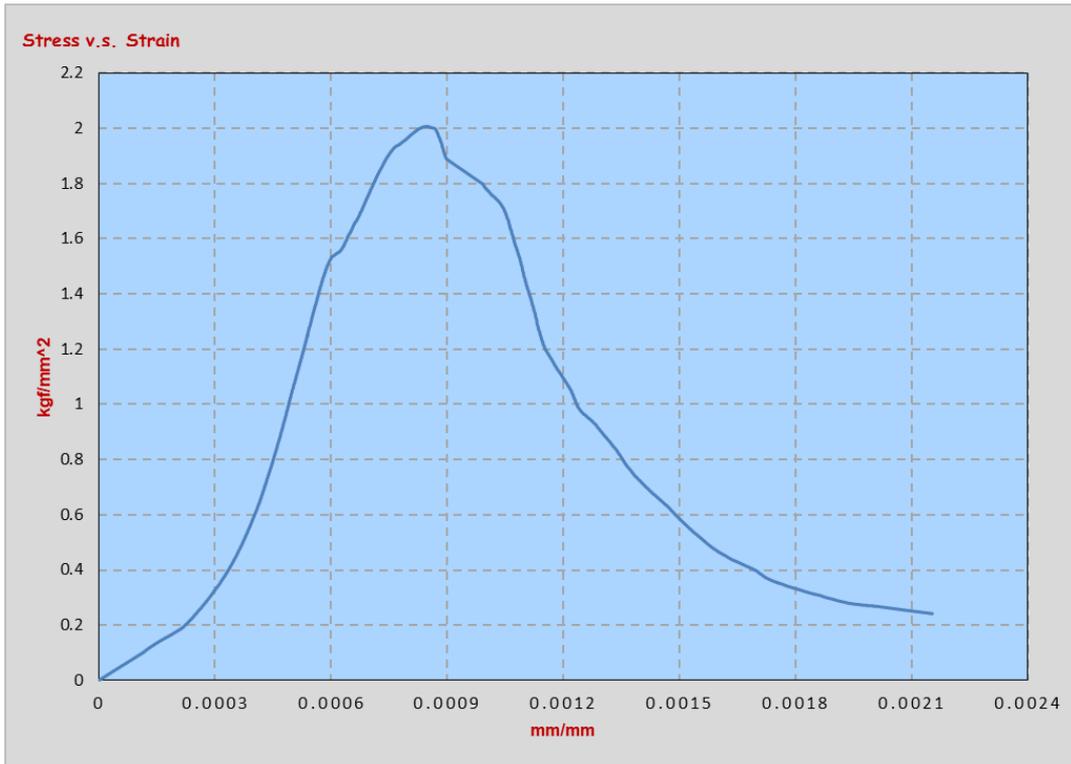
C15-5



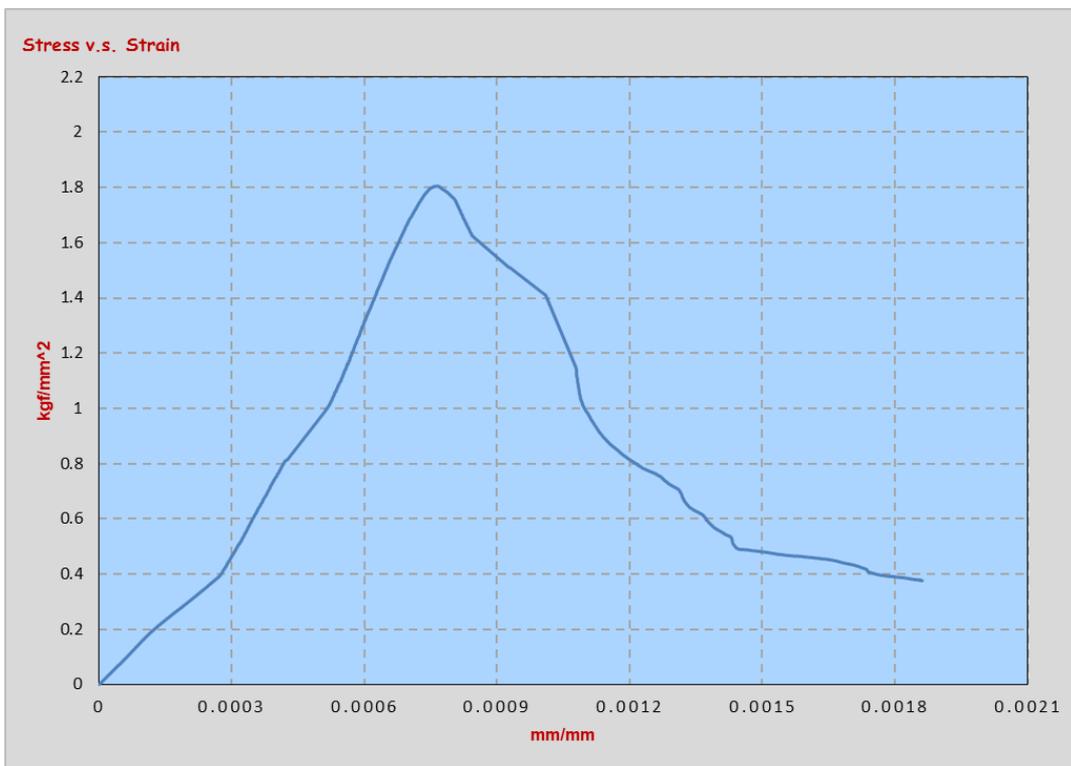
C15-6



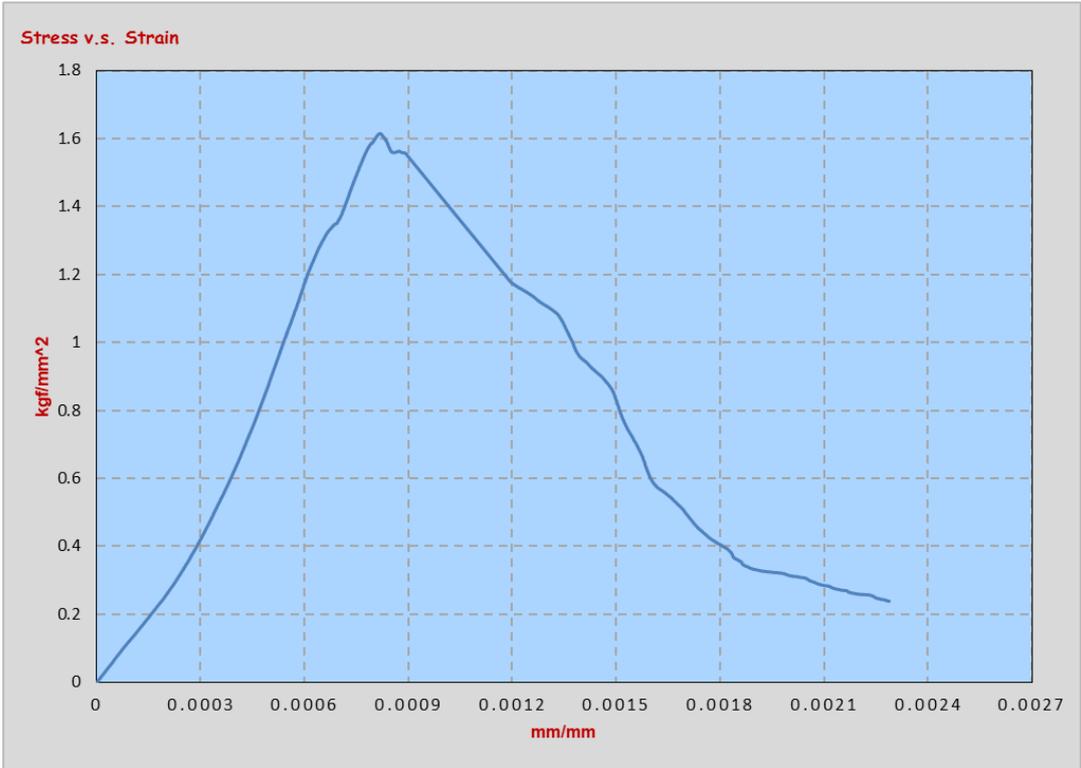
C50-4



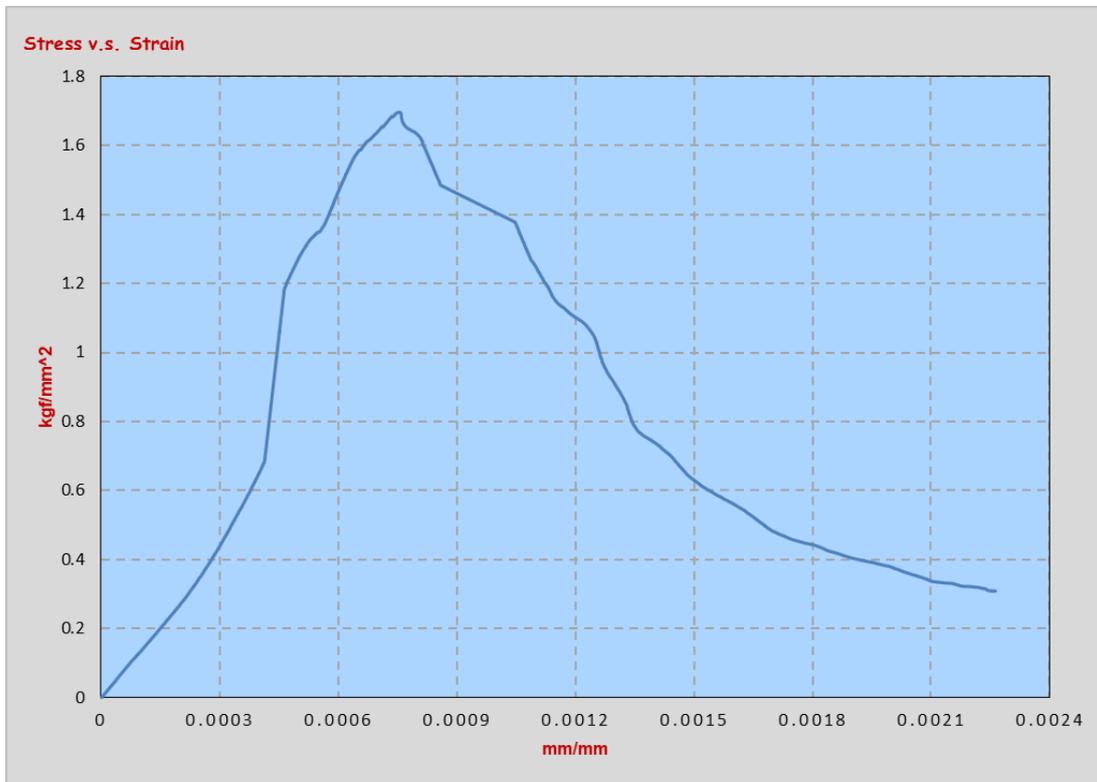
C50-5



C50-6

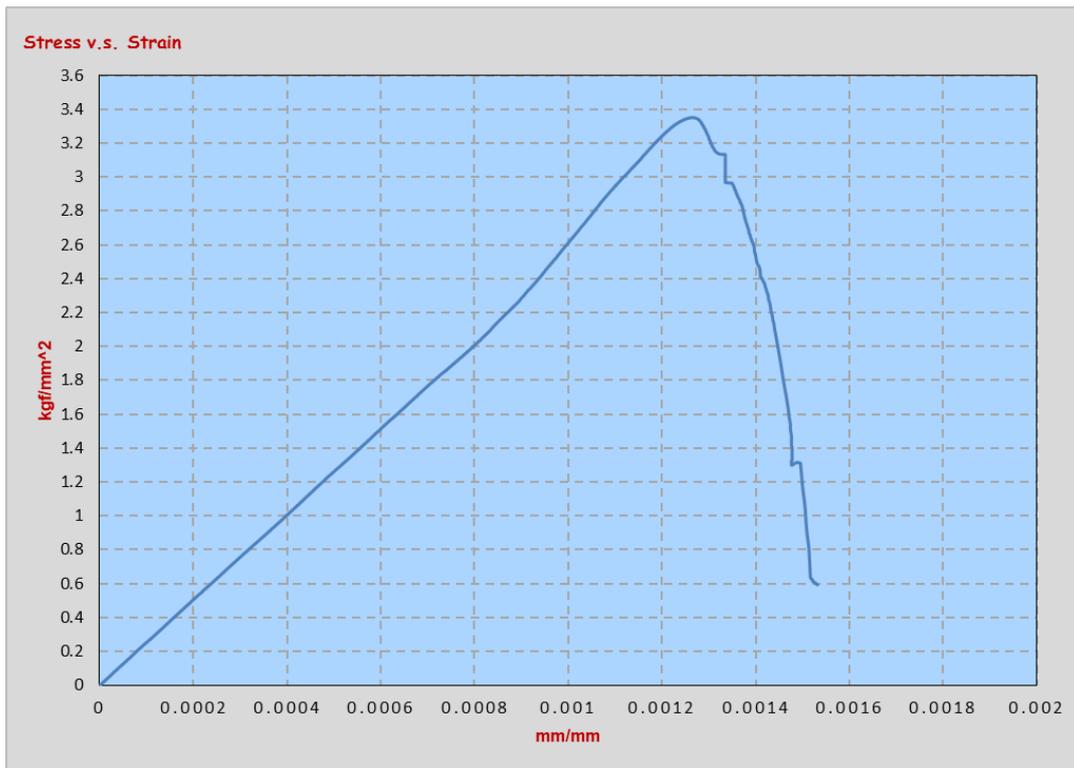


C100-4

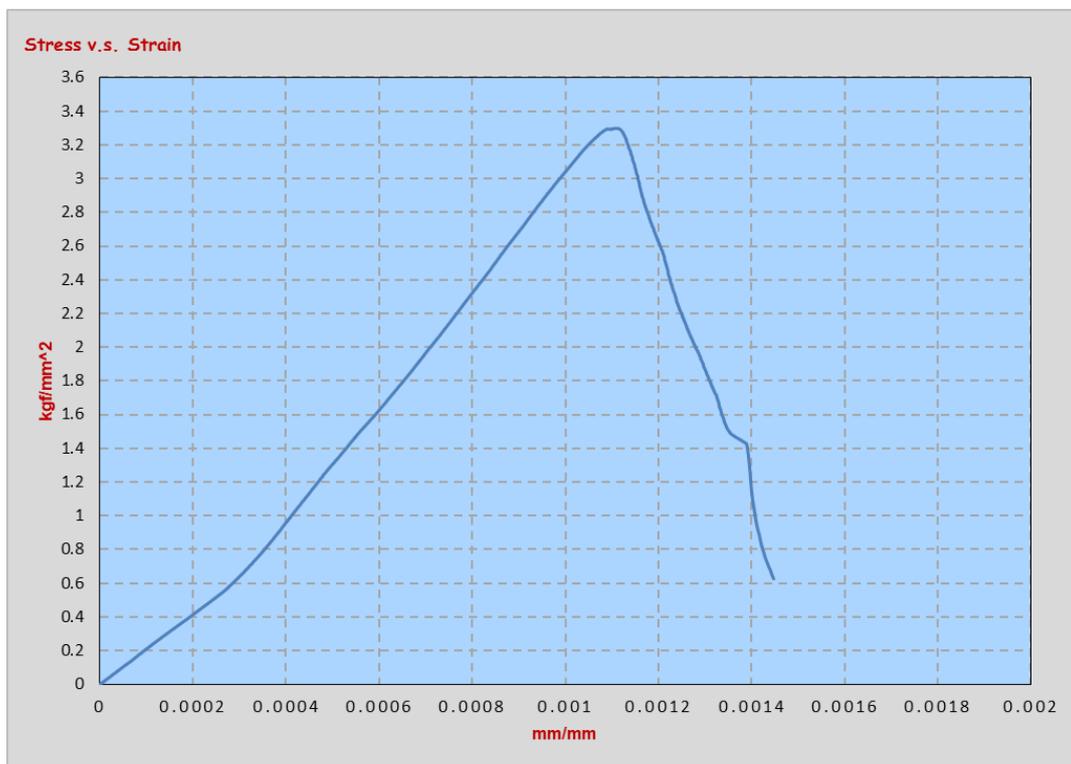


C100-5

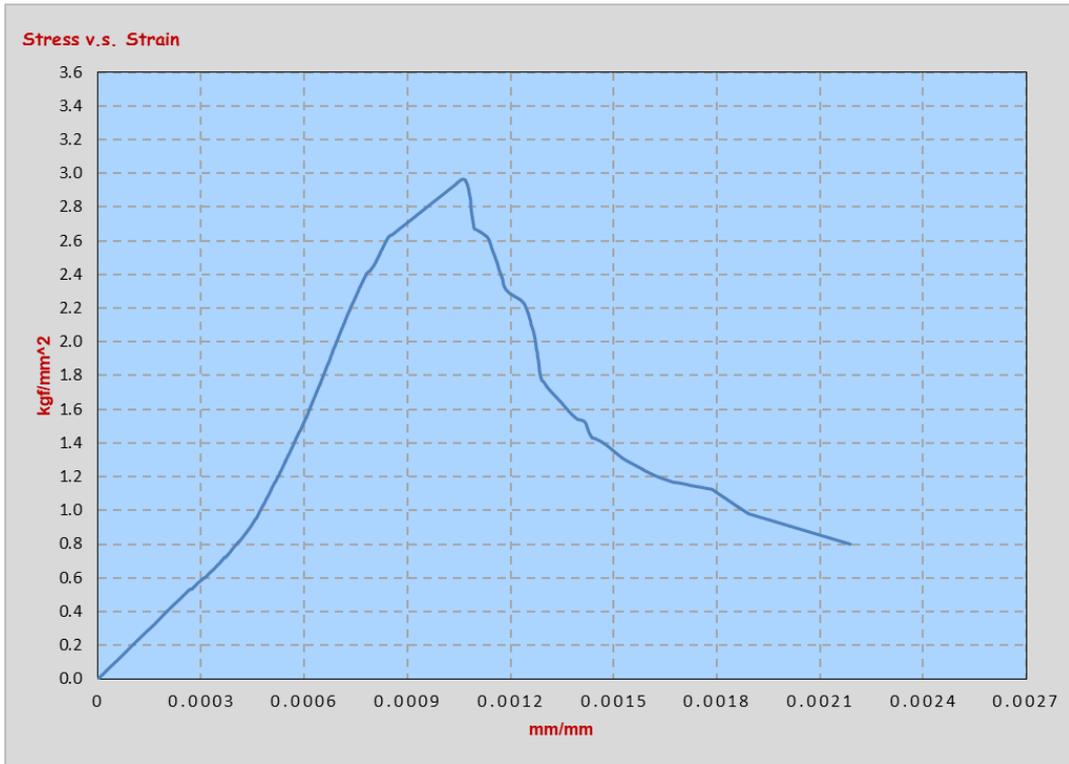
BETON MEMADAT SENDIRI



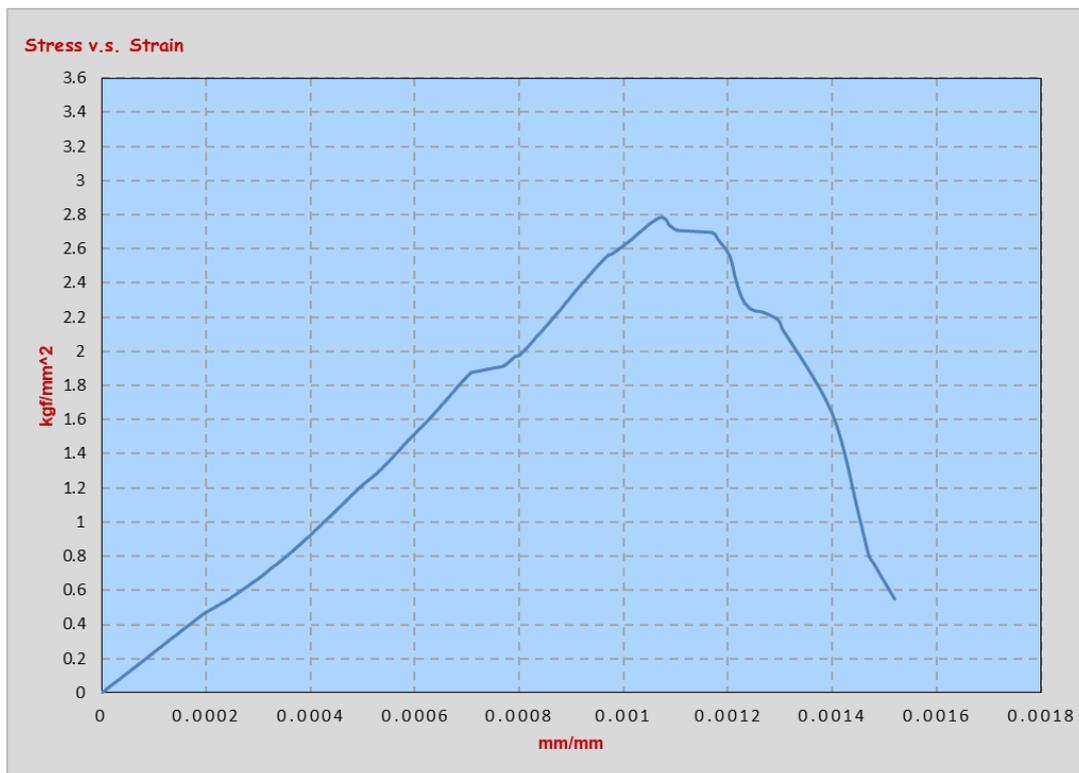
SCC0-4



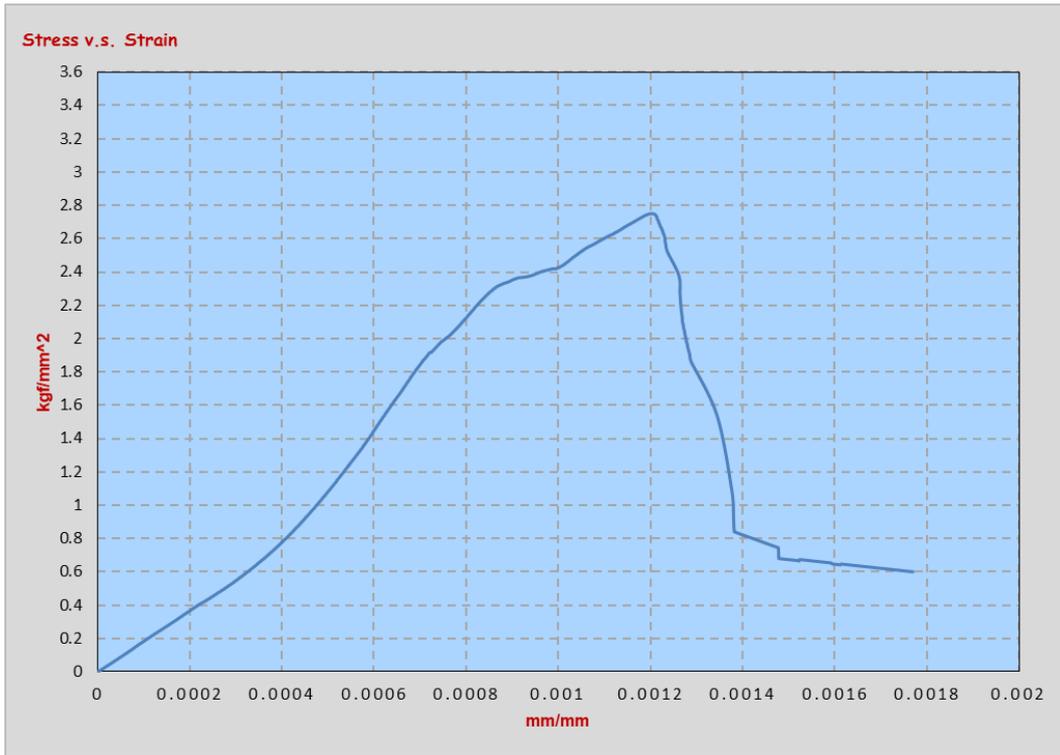
SCC0-5



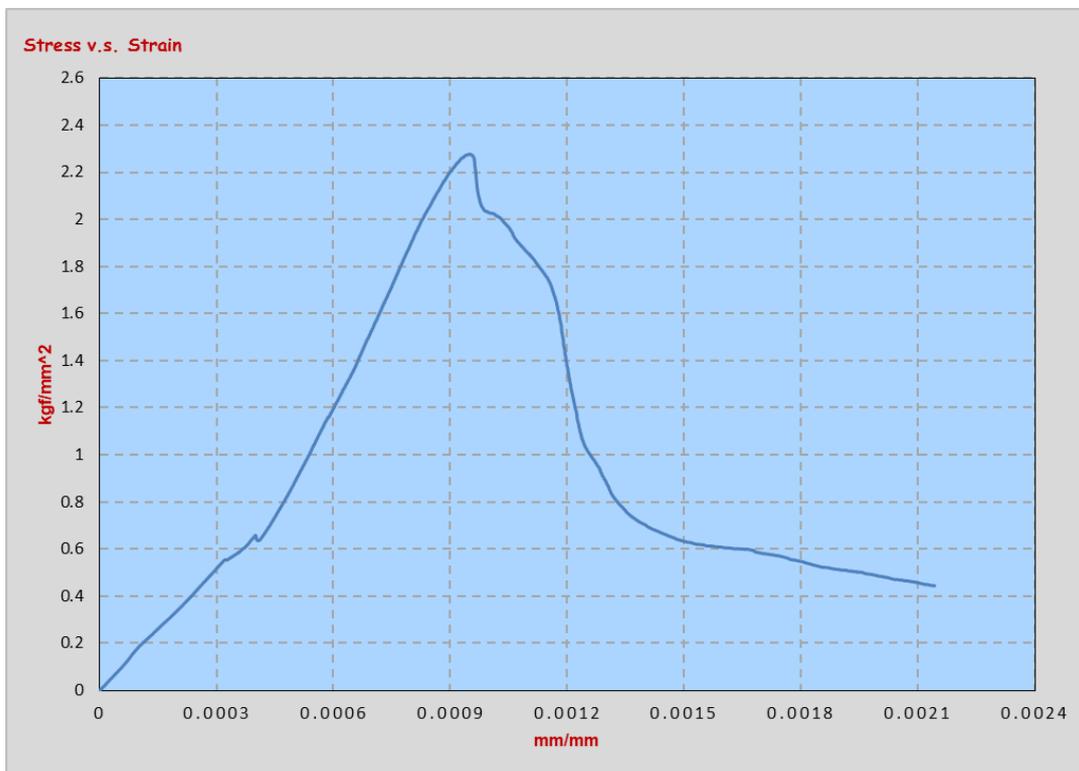
SCC15-4



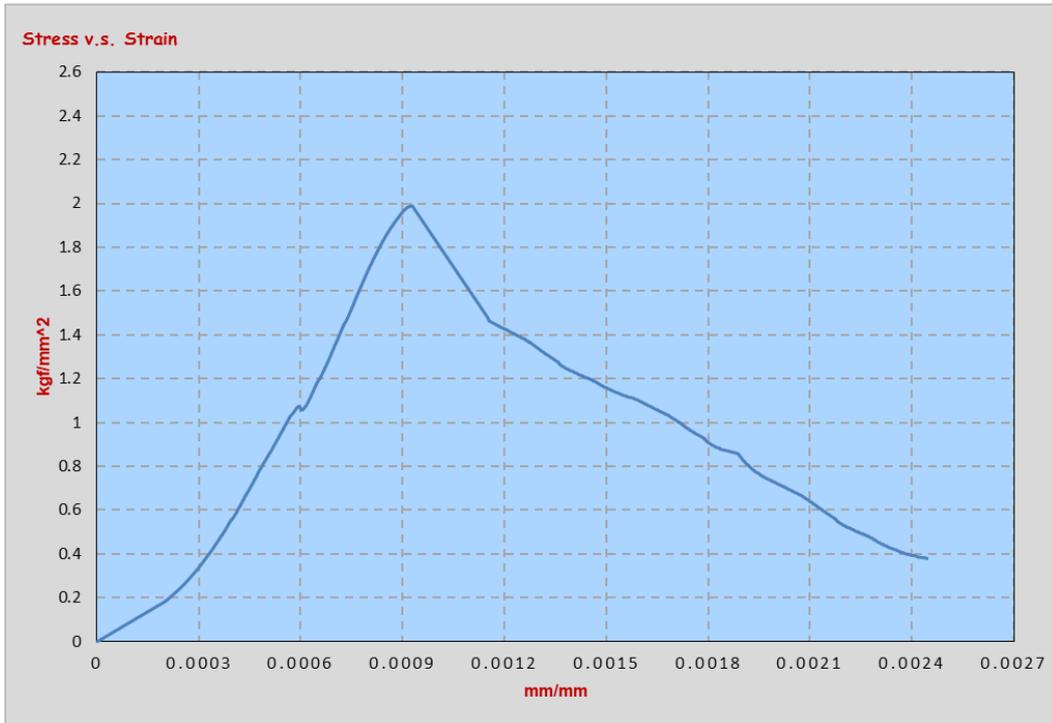
SC15-5



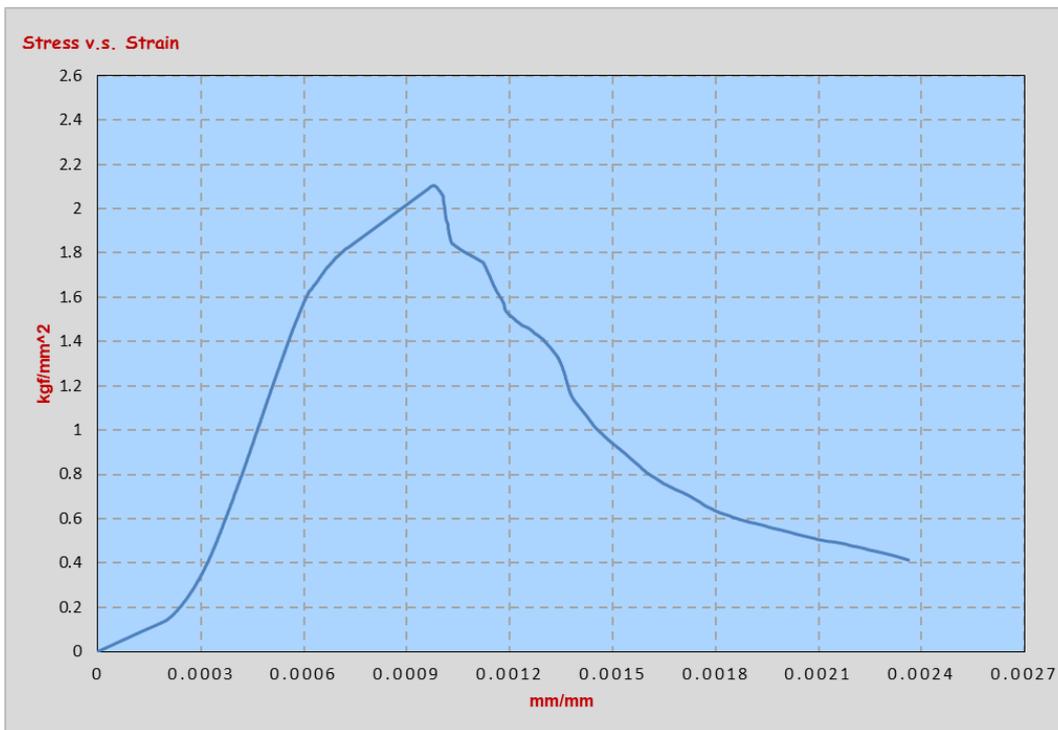
SC15-6



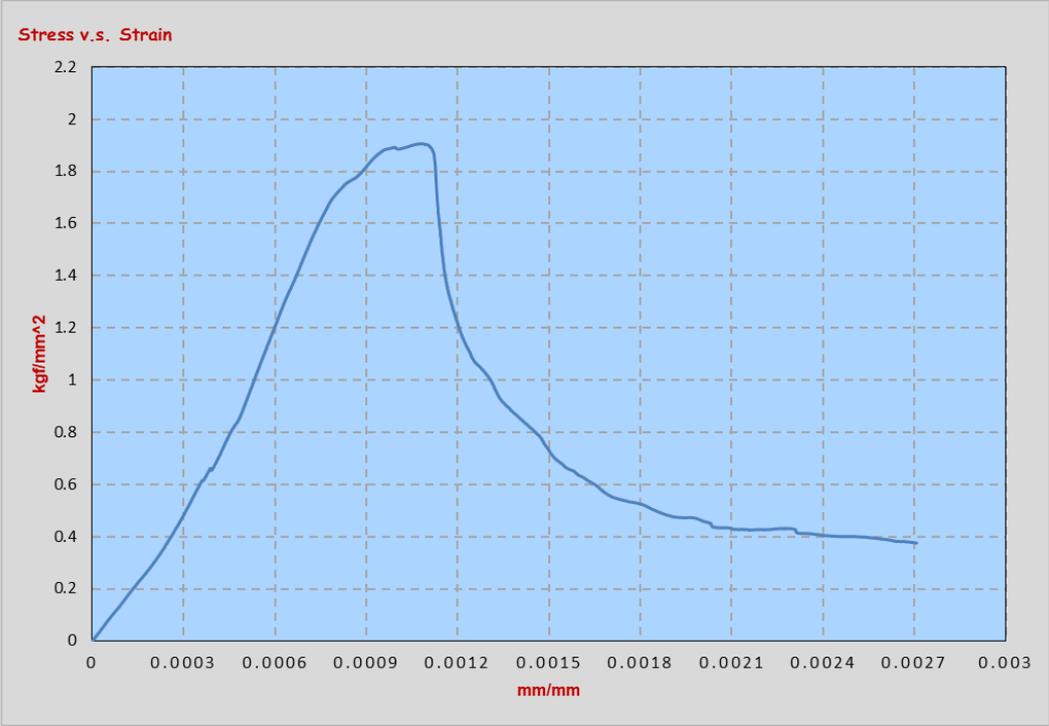
SC50-4



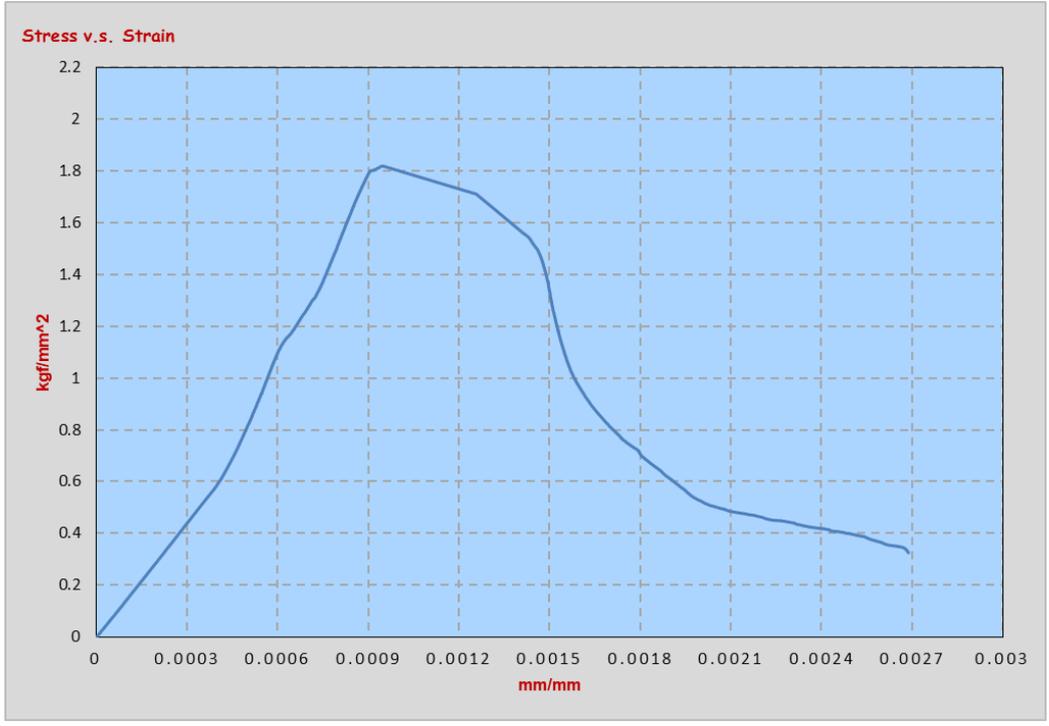
SC50-5



SC50-6



SCC100-4



SCC100-5



SCC100-6

KOORDINAT FORMULA TEGANGAN DAN REGANGAN

BETON MEMADAT SENDIRI

SCC0

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f ₀	ε	ε ₀	n	ε/ε ₀	Tegangan	Regangan
0.000	33.251	0	0.00119	21.85	0	0	0
8.723	33.251	0.0003	0.00119	21.85	0.250	6.973	0.00030
12.976	33.251	0.0004	0.00119	21.85	0.372	11.142	0.00044
16.899	33.251	0.0006	0.00119	21.85	0.485	14.963	0.00058
18.641	33.251	0.0006	0.00119	21.85	0.535	16.626	0.00064
22.324	33.251	0.0008	0.00119	21.85	0.641	20.233	0.00076
26.007	33.251	0.0009	0.00119	21.85	0.746	24.245	0.00089
29.313	33.251	0.0010	0.00119	21.85	0.842	28.256	0.00100
33.251	33.251	0.0012	0.00119	21.85	1.000	33.251	0.00119
30.761	33.251	0.0013	0.00119	21.85	1.071	28.263	0.00127
26.574	33.251	0.0013	0.00119	21.85	1.108	24.242	0.00132
20.878	33.251	0.0014	0.00119	21.85	1.144	20.338	0.00136
15.294	33.251	0.0014	0.00119	21.85	1.177	16.625	0.00140
12.949	33.251	0.0014	0.00119	21.85	1.191	14.983	0.00142

SCC15

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f ₀	ε	ε ₀	n	ε/ε ₀	Tegangan	Regangan
0	28.335	0	0.00111	14.92	0	0	0
9.010	28.335	0.0003	0.00111	14.92	0.297	6.626	0.00033
12.184	28.335	0.0004	0.00111	14.92	0.401	9.711	0.00045
14.689	28.335	0.0005	0.00111	14.92	0.484	12.751	0.00054
15.792	28.335	0.0006	0.00111	14.92	0.520	14.170	0.00058
18.069	28.335	0.0007	0.00111	14.92	0.595	17.469	0.00066
21.056	28.335	0.0008	0.00111	14.92	0.694	20.780	0.00077
23.814	28.335	0.0009	0.00111	14.92	0.786	24.093	0.00087
28.335	28.335	0.0011	0.00111	14.92	1.000	28.335	0.00111
26.302	28.335	0.0012	0.00111	14.92	1.089	24.084	0.00121
21.887	28.335	0.0013	0.00111	14.92	1.153	20.793	0.00128
17.961	28.335	0.0013	0.00111	14.92	1.195	17.477	0.00133
11.786	28.335	0.0014	0.00111	14.92	1.260	14.167	0.00140
9.165	28.335	0.0014	0.00111	14.92	1.292	12.750	0.00144

SCC50

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	21.242	0	0.00095	7.39	0	0	0
7.513	21.242	0.0003	0.00095	7.86	0.309	3.985	0.00029
10.767	21.242	0.0004	0.00095	7.86	0.442	6.806	0.00042
12.928	21.242	0.0005	0.00095	7.86	0.532	9.559	0.00051
13.707	21.242	0.0005	0.00095	7.86	0.564	10.624	0.00054
15.757	21.242	0.0006	0.00095	7.86	0.651	13.108	0.00062
17.346	21.242	0.0007	0.00095	7.86	0.721	15.572	0.00069
19.136	21.242	0.0008	0.00095	7.86	0.808	18.057	0.00077
21.242	21.242	0.0010	0.00095	7.86	1.000	21.242	0.00095
20.088	21.242	0.0011	0.00095	7.86	1.121	18.056	0.00107
17.184	21.242	0.0012	0.00095	7.86	1.230	15.569	0.00117
11.715	21.242	0.0013	0.00095	7.86	1.384	13.088	0.00132
7.221	21.242	0.0015	0.00095	7.86	1.532	10.621	0.00146
5.772	21.242	0.0015	0.00095	7.86	1.595	9.553	0.00152

SCC100

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	18.988	0	0.00093	5.01	0	0	0
7.096	18.988	0.0003	0.00093	5.01	0.299	3.761	0.00028
10.154	18.988	0.0004	0.00093	5.01	0.430	6.218	0.00040
12.394	18.988	0.0005	0.00093	5.01	0.528	8.544	0.00049
13.064	18.988	0.0005	0.00093	5.01	0.558	9.503	0.00052
14.549	18.988	0.0006	0.00093	5.01	0.628	11.711	0.00059
16.283	18.988	0.0007	0.00093	5.01	0.719	13.922	0.00067
17.498	18.988	0.0007	0.00093	5.01	0.796	16.138	0.00074
18.988	18.988	0.0009	0.00093	5.01	1.000	18.988	0.00093
15.712	18.988	0.0012	0.00093	5.01	1.316	16.139	0.00123
13.778	18.988	0.0013	0.00093	5.01	1.420	13.937	0.00133
12.784	18.988	0.0014	0.00093	5.01	1.472	11.700	0.00137
10.077	18.988	0.0015	0.00093	5.01	1.622	9.494	0.00151
8.000	18.988	0.0016	0.00093	5.01	1.758	8.543	0.00164

CO

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	22.713	0	0.00094	14.01	0	0	0
7.447	22.713	0.0003	0.00094	14.01	0.304	3.535	0.00029
10.220	22.713	0.0004	0.00094	14.01	0.418	6.878	0.00039
12.114	22.713	0.0005	0.00094	14.01	0.495	10.221	0.00046
12.685	22.713	0.0005	0.00094	14.01	0.519	11.346	0.00049
13.990	22.713	0.0005	0.00094	14.01	0.572	13.994	0.00054
15.593	22.713	0.0006	0.00094	14.01	0.638	16.654	0.00060
18.076	22.713	0.0007	0.00094	14.01	0.740	19.310	0.00069
22.713	22.713	0.0009	0.00094	14.01	1.000	22.713	0.00094
19.652	22.713	0.0011	0.00094	14.01	1.125	19.306	0.00105
16.636	22.713	0.0011	0.00094	14.01	1.174	16.657	0.00110
13.924	22.713	0.0011	0.00094	14.01	1.211	13.994	0.00113
11.347	22.713	0.0012	0.00094	14.01	1.247	11.356	0.00117
10.784	22.713	0.0012	0.00094	14.01	1.255	10.244	0.00118

C15

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	21.134	0	0.00090	11.45	0	0	0
6.757	21.134	0.0003	0.00090	11.45	0.292	4.051	0.00026
9.558	21.134	0.0004	0.00090	11.45	0.413	6.787	0.00037
11.696	21.134	0.0005	0.00090	11.45	0.505	9.510	0.00046
12.540	21.134	0.0005	0.00090	11.45	0.542	10.566	0.00049
14.341	21.134	0.0006	0.00090	11.45	0.620	13.030	0.00056
16.297	21.134	0.0006	0.00090	11.45	0.705	15.495	0.00064
18.697	21.134	0.0007	0.00090	11.45	0.815	17.955	0.00074
21.134	21.134	0.0009	0.00090	11.45	1.000	21.134	0.00090
18.025	21.134	0.0010	0.00090	11.45	1.151	17.964	0.00104
15.619	21.134	0.0011	0.00090	11.45	1.201	15.503	0.00108
12.942	21.134	0.0011	0.00090	11.45	1.251	13.029	0.00113
11.513	21.134	0.0012	0.00090	11.45	1.277	10.567	0.00115
9.865	21.134	0.0012	0.00090	11.45	1.308	9.509	0.00118

C50

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	19.395	0	0.00081	6.99	0	0	0
7.183	19.395	0.0003	0.00081	6.99	0.317	3.110	0.00026
10.392	19.395	0.0004	0.00081	6.99	0.459	5.922	0.00037
12.627	19.395	0.0005	0.00081	6.99	0.559	8.728	0.00045
13.429	19.395	0.0005	0.00081	6.99	0.596	9.682	0.00048
14.996	19.395	0.0005	0.00081	6.99	0.669	11.951	0.00054
16.242	19.395	0.0006	0.00081	6.99	0.731	14.235	0.00059
17.746	19.395	0.0007	0.00081	6.99	0.816	16.490	0.00066
19.395	19.395	0.0008	0.00081	6.99	1.000	19.395	0.00081
15.935	19.395	0.0010	0.00081	6.99	1.244	16.486	0.00101
13.647	19.395	0.0011	0.00081	6.99	1.326	14.237	0.00107
12.193	19.395	0.0011	0.00081	6.99	1.376	11.957	0.00111
9.998	19.395	0.0012	0.00081	6.99	1.455	9.697	0.00118
8.487	19.395	0.0012	0.00081	6.99	1.515	8.729	0.00123

C100

TEORITIS						EKSPERIMENTAL	
f	f₀	ε	ε₀	n	ε/ε₀	Tegangan	Regangan
0	16.558	0	0.00079	4.12	0	0	0
5.740	16.558	0.0002	0.00079	4.12	0.263	2.742	0.00021
9.334	16.558	0.0003	0.00079	4.12	0.431	5.087	0.00034
11.645	16.558	0.0004	0.00079	4.12	0.547	7.451	0.00043
12.134	16.558	0.0005	0.00079	4.12	0.573	8.278	0.00045
13.104	16.558	0.0005	0.00079	4.12	0.628	10.211	0.00049
14.156	16.558	0.0005	0.00079	4.12	0.693	12.150	0.00055
15.740	16.558	0.0006	0.00079	4.12	0.824	14.070	0.00065
16.558	16.558	0.0008	0.00079	4.12	1.000	16.558	0.00079
15.091	16.558	0.0010	0.00079	4.12	1.256	14.074	0.00099
12.692	16.558	0.0011	0.00079	4.12	1.456	12.142	0.00115
10.030	16.558	0.0013	0.00079	4.12	1.667	10.207	0.00131
8.492	16.558	0.0014	0.00079	4.12	1.804	8.279	0.00142
8.019	16.558	0.0015	0.00079	4.12	1.850	7.448	0.00146

MIX DESIGN YANG DIGUNAKAN

No.	Uraian	Tabel/Grafik	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Karakteristik	Ditetapkan	250	Kg/cm ²	
2	Standar Deviasi	Tabel 1	60	Kg/cm ²	
3	Nilai Tambah (Margin)	1,64*(2)	98.4	Kg/cm ²	
4	Kekuatan Tekan Rata-Rata	(1)+(3)	348.4	Kg/cm ²	
5	Jenis Semen	Ditetapkan	40	Kg	Tipe 1
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah Paserpan		
7	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir Lumajang		
8	FAS	Ditetapkan	0.4		
9	Slump	Tabel 4	10 sampai 30	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20	mm	
11	Kadar Air Bebas	Tabel 3	190	kg/m ³	
12	Kadar Semen	(11)/(8)	475	Kg/m ³	
13	Kadar Semen Maks	Ditetapkan	-	Kg/m ³	
14	Kadar Semen Min	Tabel 2	275	Kg/m ³	
15	FAS yg Disesuaikan	(11)/(Kadar Semen yang dipakai)	0.691		Diabaikan
16	Gradasi Agregat Halus	Grafik 2a-2d	Zona 2		
17	Persen Agregat Halus (FM)	Grafik 3a-3c	0.37	%	
18	BJ Agregat Gabungan	(FM Pasir*BJ Pasir)+(FM Kerikil*BJ Kerikil)	2.67	Kg/m ³	
19	BJ Beton	Grafik Gb 4	2387.5	Kg/m ³	
20	Kadar Agregat Gabungan	(19)-(Kadar Semen yang dipakai)-(11)	1723	Kg/m ³	
21	Kadar Agregat Halus	(20)*(17)	637	Kg/m ³	
22	Kadar Agregat Kasar	(20)-(21)	1085	Kg/m ³	
Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan 1 M ³ Beton yg Direncanakan					
23	a. Semen	12	475	Kg/m ³	
24	b. Air	11	190	Kg/m ³	
25	c. Agregat Halus	21	1033.2	Kg/m ³	
26	d. Agregat Kasar	22	688.8	Kg/m ³	
Perbandingan Mix Design					
	Semen			1	
	Air			0.4	
	Agregat Halus (Pasir)			2.18	
	Agregat Kasar (Kerikil)			1.45	

BIODATA PENULIS



Dhiafah Hera Darayani, penulis dilahirkan di Mataram pada tanggal 26 September 1992, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyah Mataram, SDN 10 Mataram, SMPN 1 Mataram, dan SMAN 7 Mataram. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi dengan mengikuti tes masuk SNMPTN untuk program S1 Teknik Sipil di Universitas Mataram. Penulis menyelesaikan masa studi S1 selama 5 tahun dengan judul skripsi “*Analisis Penambahan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton Ringan dengan Metode Statistik*”. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil program studi teknik sipil khususnya bidang keahlian struktur.

Email : dhiafah.hera@gmail.com