

TUGAS AKHIR

**PENGARUH BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI
DAN SIKAFUME TERHADAP KUAT TEKAN,
KUAT TARIK BELAH, DAN KUAT LENTUR
BETON SCC**

***(THE EFFECT OF ADDITION OF RICE HUSK ASH
AND SIKAFUME ON COMPRESSIVE STRENGTH,
TENSILE STRENGTH, AND FLEXURAL STRENGTH
OF SELF COMPACTING CONCRETE)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Azka Jindar Thiyafi
19511278**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

PENGARUH BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI DAN SIKAFUME TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN KUAT LENTUR BETON SCC (THE EFFECT OF ADDITION OF RICE HUSK ASH AND SIKAFUME ON COMPRESSIVE STRENGTH, TENSILE STRENGTH, AND FLEXURAL STRENGTH OF SELF COMPACTING CONCRETE)

Disusun Oleh


Azka Jindar Thiyafi
19511278

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 22 Desember 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

 16.01.24

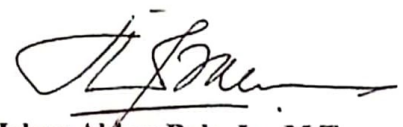
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301

Penguji I



Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK : 205111302

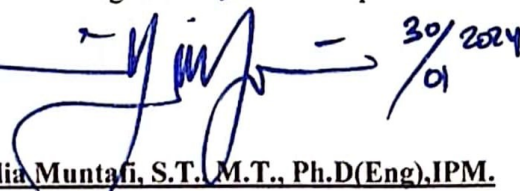
Penguji II



Helmy Akbar Bale, Ir., M.T.
NIK : 885110105



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 30/01/2024
Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng), IPM.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Azka Jindar Thiyafi

(19511278)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan *Sika fume* Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur Beton SCC” dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentu saja banyak hambatan yang dilalui oleh penulis. Namun atas dukungan, semangat, saran, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan segala ikhlas penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat.

1. Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
2. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rahayu Widyaningsih dan Bapak Maksum MZ, kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Nadya Azalia Zahra, adik penulis yang selalu penulis jadikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Orang spesial yang jauh disana, yang senantiasa menjadi pendengar yang baik dan selalu memberikan motivasi selama penyusunan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman “Calon Mandor” yang selalu menemani penulis dalam kondisi apapun dan berbagi pengalaman kepada penulis.
7. Teman-teman “WOW” yang juga terlibat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D(Eng).,IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan sebagai tambahan referensi untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 Desember 2023

Penulis,



Azka Jindar Thiyafi

19511278

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.1.1 Pengertian Beton	5
2.1.2 Pengertian Beton SCC	5
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.2.1 Pengaruh Penambahan Sikafume Terhadap Kuat Tekan <i>Self Compacting Concrete</i> yang Menggunakan <i>Superplasticizer Viscocrete 3115N</i> .	6
2.2.2 Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton <i>Self Compacting Concrete (SCC)</i> Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton.	6

2.2.3	Karakteristik Beton SCC Dengan Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi.	7
2.2.4	Pengaruh Penambahan Persentase <i>Sika fume</i> dan <i>Superplasticizer (Viscocrete 3115-N)</i> Pada Beton SCC Agar Memenuhi Syarat Mutu K-500.	8
2.2.5	Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton.	8
2.3	Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI		13
3.1	Beton	13
3.2	<i>Self-Compacting Concrete (SCC)</i>	14
3.2.1	Pengertian <i>Self-Compacting Concrete</i>	14
3.2.2	Karakteristik <i>Self-Compacting Concrete</i>	15
3.2.3	Syarat Beton SCC	16
3.3	Bahan Penyusun Beton	16
3.3.1	Semen Portland	17
3.3.2	Agregat	18
3.3.3	Air	20
3.4	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	21
3.5	Bahan Tambah	21
3.5.1	Bahan Tambah Kimia (<i>Chemical Admixture</i>)	22
3.5.2	Bahan Tambah Mineral (<i>Mineral Admixture</i>)	23
3.5.3	Superplasticizer Viscocrete 3115N	24
3.5.4	<i>Sika Fume</i>	24
3.5.5	Abu Sekam Padi	25
3.6	Perencanaan Campuran Beton	26
3.7	Kuat Tekan	33
3.8	Kuat Tarik Belah	34
3.9	Kuat Lentur	35
3.10	Korelasi	36
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		37

4.1	Tinjauan Umum	37
4.2	Variabel Penelitian	37
4.3	Bahan yang Digunakan	38
4.4	Peralatan yang Digunakan	38
4.5	Pembuatan Benda Uji	40
4.6	Pelaksanaan Penelitian	41
4.6.1	Persiapan	41
4.6.2	Pemeriksaan Agregat	41
4.6.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	42
4.6.4	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> Umur 7 Hari	42
4.6.5	Pengujian Karakteristik Beton SCC	43
4.6.6	Pengujian Sampel Benda Uji	46
4.6.7	Analisis Data	47
4.6.8	Pembahasan	47
4.6.9	Kesimpulan dan Saran	47
4.7	Diagram Alir Penelitian	48
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		51
5.1	Umum	51
5.2	Pemeriksaan Agregat	51
5.2.1	Pemeriksaan Agregat Halus	51
5.2.2	Pemeriksaan Agregat Kasar	59
5.3	Perencanaan Campuran Beton SCC (<i>Mix Design</i>)	67
5.4	Hasil Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> SCC	75
5.5	Hasil Pengujian <i>Slump Flow</i>	76
5.6	Hasil Pengujian <i>V-Funnel</i>	79
5.7	Hasil Pengujian <i>L-Box</i>	81
5.8	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC	83
5.9	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC	87
5.10	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton SCC	92
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		97
6.1	Kesimpulan	97

6.2	Saran	97
	DAFTAR PUSTAKA	99
	LAMPIRAN	102

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	10
Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus	19
Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar	20
Tabel 3. 3 Faktor Pengali Deviasi Standar	26
Tabel 3. 4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan Fas 0,5	27
Tabel 3. 5 Penetapan Nilai <i>Slump</i> Berdasarkan Pemakaian Beton	29
Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air per M ³ Beton	29
Tabel 3. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus	30
Tabel 3. 8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton	33
Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji Setiap Variasi	41
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	52
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	55
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	55
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	58
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	58
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur)	59
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	61
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	63
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	64
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	66
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	67
Tabel 5. 12 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5	68
Tabel 5. 13 Perkiraan Kebutuhan Air per-m ³ Beton (liter)	70
Tabel 5. 14 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum	71
Tabel 5. 15 Hasil Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton 41,5 MPa	74
Tabel 5. 16 Proporsi Campuran Untuk Beton SCC 41,5 MPa	75
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton <i>Trial SCC</i>	76

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Slump Flow</i> Beton SCC	77
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>V-Funnel</i> Beton SCC	80
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>L-Box</i> Beton SCC	81
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC	84
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC	88
Tabel 5. 23 Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton SCC	91
Tabel 5. 24 Korelasi Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tekan Beton SCC	91
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton SCC	93
Tabel 5. 26 Perbandingan Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton SCC	95
Tabel 5. 27 Korelasi Kuat Lentur Dengan Kuat Tekan Beton SCC	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Perbandingan Proporsi Campuran Beton SCC dan Konvensional	16
Gambar 3. 2 Abu Sekam Padi	25
Gambar 3. 3 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	28
Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan	32
Gambar 3. 5 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton	34
Gambar 3. 6 Sketsa Uji Kuat Tarik Belah Beton	35
Gambar 3. 7 Perletakan dan Pembebanan Uji Kuat Lentur Beton	36
Gambar 4. 1 Meja Khusus Pengujian <i>Slump Flow</i>	43
Gambar 4. 2 Alat Uji <i>V-funnel</i>	44
Gambar 4. 3 Alat Uji <i>L-Shapped Box</i>	45
Gambar 4. 4 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	56
Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	57
Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	65
Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	65
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)	69
Gambar 5. 6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	73
Gambar 5. 7 Grafik Pengujian T50 Beton SCC	78
Gambar 5. 8 Grafik Pengujian <i>Slump Flow</i> Beton SCC	78
Gambar 5. 9 Grafik Pengujian <i>V-Funnel</i> Beton SCC	80
Gambar 5. 10 Grafik Pengujian <i>L-Box</i> Beton SCC	82
Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton SCC	86
Gambar 5. 12 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC	89
Gambar 5. 13 Grafik Pengujian Kuat Lentur Beton SCC	94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Pemakaian Laboratorium	103
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus	104
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar	112
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton SCC	119
Lampiran 5 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton SCC	120
Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC	121
Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Lentur Beton SCC	122
Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian	123

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SCC	= <i>Self Compacting Concrete</i>
EFNARC	= <i>European Federation of National Associations Representing for Concrete</i>
f_c	= Kuat tekan beton (MPa)
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
MPa	= <i>Megapascal</i>
SP	= <i>Superplasticizer Viscocrete 3115N</i>
ASP	= Abu Sekam Padi
SF	= <i>Sikafume</i>
fas	= Faktor air semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Sd	= Deviasi standar
M	= Nilai Tambah
Sr	= Deviasi standar rencana
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rencana
W	= Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3)
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
c	= Jumlah semen (kg/m^3)
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
BJ_{gab}	= Berat jenis relatif/gabungan agregat
$BJ_{Ag. halus}$	= Berat jenis agregat halus
$BJ_{Ag. kasar}$	= Berat jenis agregat kasar
% Ag. Halus	= Persentase agregat halus (%)
% Ag. Kasar	= Persentase agregat kasar (%)
$W_{Ag. gab}$	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
W_{beton}	= Berati isi beton (kg/m^3)

W_{semen}	= Kadar semen (kg/m^3)
$W_{\text{Ag. kasar}}$	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)
$W_{\text{Ag. halus}}$	= Kadar agregat halus (kg/m^3)
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
P	= Gaya tekan aksial (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
T	= Kuat tarik belah beton (MPa)
L	= Panjang benda uji (mm)
D	= Diameter benda uji (mm)
R	= Kuat lentur beton (MPa)
b	= Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)
d	= Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)
MHB	= Modulus Halus Butir
f_{ct}	= Kuat tarik belah beton rata-rata (MPa)
f_u	= Kuat lentur beton rata-rata (MPa)

ABSTRAK

Beton SCC (*self-compacting concrete*) adalah beton yang mampu mengalir dan mengisi ruang bekisting dengan berat sendiri. Beton SCC tidak dapat mengalir tanpa bahan tambah kimia berupa *superplasticizer*. Pada penelitian ini, digunakan *superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,9% dari berat semen sebagai peningkat *workability*. Untuk mencapai target mutu rencana, digunakan bahan tambah mineral berupa abu sekam padi sebanyak 10% dari berat semen dan *sika fume* dengan kadar 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10% dari berat semen. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana sebesar 41,5 MPa dan *EFNARC 2005* sebagai persyaratan parameter dalam menentukan komposisi campurannya. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* dalam campuran beton SCC terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur benda uji umur 28 hari. Selain itu, dilakukan juga pengujian karakteristik beton segar SCC meliputi uji *slump flow T50*, *V-Funnel*, dan *L-Box*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton SCC. Kuat tekan beton dapat meningkat hingga 19,63%, kuat tarik belah hingga 17,65%, dan kuat lentur hingga 9,04% dari beton normal. Nilai kuat tekan optimum didapatkan pada variasi ASP10% - SF5% sebesar 44,136 MPa. Pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% tidak dapat dikatakan sebagai beton SCC karena tidak memenuhi persyaratan pengujian karakteristik beton menurut *EFNARC 2005*.

Kata kunci: Beton SCC, Abu sekam padi, *Sika fume*, *Viscocrete 3115N*

ABSTRACT

Self-Compacting Concrete (SCC) is concrete that can flow and fill the formwork under its own weight. Self-compacting concrete cannot flow smoothly without the addition of chemical admixture known as superplasticizer. In this research, Viscocrete 3115N superplasticizer was used at 0,9% of the cement weight to enhance workability. To produce concrete according to the planned quality, mineral additives such as rice husk ash at 10% of the cement weight and sika fume at levels of 0%, 3%, 5%, 8%, and 10% of the cement weight were also incorporated. The mix design calculation of concrete is based on SNI 03-2834-2000 with a planned compressive strength of 41,5 MPa, and EFNARC 2005 is used as the parameter requirement for determining the mix composition. The testing conducted in this research aimed to determine the influence of using rice husk ash and sika fume in self-compacting concrete on the compressive strength, tensile strength, and flexural strength of 28-day-old concrete. Additionally, self-compacting concrete were tested using slump flow T50, V-Funnel, and L-Box tests.

The research results indicate that using a rice husk ash and sika fume can enhance the compressive strength, tensile strength, and flexural strength of self-compacting concrete. The compressive strength of the concrete can increase up to 19,63%, tensile strength up to 17,65%, and flexural strength up to 9,04% compared to normal concrete. The optimum compressive strength was obtained in the ASP10% - SF5% variation, reaching 44,136 MPa. However, the ASP10% - SF8% and ASP10% - SF10% variations cannot be considered as self-compacting concrete because it does not meet the testing requirements for concrete characteristics according to EFNARC 2005.

Keywords: *Self-compacting concrete, Rice husk ash, Sika fume, Viscocrete 3115N*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia hingga saat ini mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini didasari dengan pulihnya ekonomi pasca pandemi. Pemerintah terus menjalankan berbagai kebijakan untuk meningkatkan aktivitas ekonomi, menangani ketimpangan wilayah, serta mendorong pembangunan dan pertumbuhan ekonomi nasional untuk sekarang dan masa depan. Saat ini pemerintah tengah berusaha menyelesaikan 200 Proyek Strategis Nasional dan 12 Program Strategis Nasional yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah proyek yang memiliki nilai investasi tinggi dan berdampak ekonomi luas, seperti sektor jalan, pelabuhan, kereta api, bandar udara, bendungan, energi, dan telekomunikasi (Permen Perekonomian, 2022).

Salah satu komponen konstruksi yang biasa digunakan dalam pembangunan infrastruktur PSN adalah beton. Hal ini dikarenakan beton memiliki keunggulan dalam kemudahan memperoleh material penyusunnya dan dapat dibuat dimana saja sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi. Namun sering kali ditemukan kendala dalam pekerjaan beton yaitu pada proses pemadatan, dimana alat pemadat tidak mampu menjangkau bagian yang memiliki tulangan padat dan rapat. Sehingga teknologi *self-compacting concrete* merupakan alternatif yang tepat dalam mengatasi permasalahan tersebut.

Beton SCC (*Self-Compacting Concrete*) merupakan suatu inovasi beton yang mampu mengalir dan memadat dengan berat sendiri tanpa mengalami segregasi (EFNARC, 2005). Beton SCC tidak dapat mengalir dengan sendirinya tanpa *admixture* berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* berperan sebagai *admixture* yang dapat meningkatkan *workability* beton tanpa mengurangi kekuatan beton. Terdapat berbagai macam jenis *superplasticizer* yang terjual di pasaran salah satunya adalah *viscocrete 3115N*. Pada penelitian sebelumnya mengenai penggunaan *superplasticizer viscocrete 3115N* pada beton SCC, didapatkan kadar

optimum penggunaan *viscocrete 3115N* sebesar 0,9% dari berat semen dengan proporsi agregat halus dan kasar sebesar 51% dan 49% (Ikbal, 2016).

Penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan karakteristik beton SCC. Salah satu upaya yang dilakukan adalah menggunakan bahan tambah seperti abu sekam padi dan *silica fume* dalam campuran beton SCC. Abu sekam padi mengandung senyawa silika (SiO_2) sebesar 89,64% sehingga dapat digolongkan sebagai *pozzolan* (Rahman, 2018). Pada penelitian sebelumnya tentang penggunaan abu sekam padi sebesar 0-12% sebagai bahan tambah dalam campuran beton, didapatkan kadar optimum penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen (Farhan dkk, 2023). Di samping itu, *silica fume* juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton SCC. Terdapat berbagai merk *silica fume* yang terjual di pasaran salah satunya adalah *sika fume*. Penggunaan *sika fume* dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan, kepadatan, dan daya tahan beton (Data Teknis PT Sika Indonesia, 2018). Pada penelitian sebelumnya mengenai penggunaan *sika fume* sebagai bahan tambah beton SCC dengan kadar 0-5%, didapatkan hasil kadar optimum sebesar 3% dari berat semen (Nugraha, 2017). Dilanjutkan pada penelitian dengan kadar 5-10% *sika fume* sebagai bahan tambah beton SCC, didapatkan hasil kadar optimum sebesar 8% dari berat semen (Amal, 2021).

Selama satu dekade terakhir, sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai beton SCC di Indonesia. Namun, belum ada peraturan yang mengatur tentang beton SCC sehingga masih terbatas pada uji *mix design*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan menggunakan metode *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000 dan EFNARC 2005 yang digunakan sebagai persyaratan parameter penentuan campuran beton SCC.

Dari latar belakang masalah tersebut, kombinasi abu sekam padi dan *sika fume* diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan beton SCC yang lebih unggul dan berkelanjutan dalam industri konstruksi. Pada penelitian ini, untuk beton normal dan semua variasi beton SCC menggunakan *superplasticizer* sebanyak 0,9% dari berat semen dengan mutu beton rencana $f'_c = 41,5$ MPa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh abu sekam padi dan *sika fume* terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton SCC pada umur 28 hari?
2. Apakah dengan penambahan abu sekam padi dan *sika fume* dapat menghasilkan beton SCC seperti yang disyaratkan EFNARC 2005?
3. Berapakah nilai kuat tekan optimum penggunaan 10% abu sekam padi dan *sika fume* pada variasi 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10% terhadap beton SCC?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh abu sekam padi dan *sika fume* terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton SCC pada umur 28 hari.
2. Mengetahui apakah dengan penambahan abu sekam padi dan *sika fume* dapat menghasilkan beton SCC sesuai dengan persyaratan EFNARC 2005.
3. Mengetahui nilai kuat tekan optimum penggunaan 10% abu sekam padi dan *sika fume* pada variasi 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10% terhadap beton SCC.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi dibidang bahan bangunan, khususnya pembuatan beton SCC dengan campuran abu sekam padi dan *sika fume*.
2. Menjadi acuan untuk aplikasi atau penerapan beton SCC dengan penambahan abu sekam padi dan *sika fume* dalam industri konstruksi nasional.
3. Sebagai acuan bagi peneliti selanjutnya tentang pengaruh penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* pada beton SCC terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian tidak terlampaui jauh dan melebar dari tujuan penelitian. Batasan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana $f'_c = 41,5\text{MPa}$
2. Abu sekam padi yang digunakan berbentuk butiran lolos saringan No.200 berasal dari limbah pembuatan batu bata di Yogyakarta.
3. Kadar abu sekam padi yang digunakan adalah 10% dari berat semen.
4. Tidak dilakukan pengukuran suhu pembakaran abu sekam padi.
5. Variasi penambahan *sika fume* yang digunakan adalah 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10% dari berat semen.
6. Kadar *viscocrete 3115N* yang digunakan sebesar 0,9% dari berat semen.
7. Abu sekam padi, *sika fume*, dan *Viscocrete 3115N* yang digunakan tidak dilakukan proses pengujian komposisi senyawa kimia.
8. Semen yang digunakan adalah PCC tipe 1 dengan merek Holcim (*dynamix*).
9. Proporsi perbandingan berat agregat halus dan kasar yaitu 51% dan 49%.
10. Ukuran agregat kasar maksimum 20 mm.
11. Agregat kasar didapatkan dari Clereng, Kulon Progo.
12. Agregat halus didapatkan dari Progo, Kulon Progo.
13. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
14. Perawatan beton dilakukan dengan cara merendam beton di dalam air selama 28 hari.
15. Penelitian dilakukan hanya sebatas uji kuat tekan (SNI 1974-2011), uji kuat tarik belah (SNI 03-2491-2014), uji kuat lentur (SNI 4154-2014) dan pengujian *workability* meliputi uji *slumpflow T50*, *L-Box*, dan *V-Funnel*.
16. Pengaruh suhu, udara serta faktor yang mempengaruhi lainnya diabaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Pengertian Beton

Beton merupakan suatu elemen dalam konstruksi yang terdiri dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Dalam proses pembuatan beton dapat ditambahkan zat aditif sebagai material tambahan yang berfungsi untuk kemudahan pengerjaan atau untuk mempercepat waktu ikat pada beton dengan maksud mempersingkat waktu pelaksanaannya. Berdasarkan SNI 2847 (2013), definisi beton adalah campuran antara semen portland (*portland cement*) atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

2.1.2 Pengertian Beton SCC

Beton SCC (*Self-Compacting Concrete*) yaitu suatu beton yang dapat mengalir sendiri dan dapat memenuhi bekisting tanpa membutuhkan *vibrator* untuk memadatkannya. Hal tersebut disebabkan karena beton SCC memiliki *flowability* yang tinggi. Beton SCC ini dibuat sangat cair sehingga memungkinkan pengecoran dilakukan dengan baik, merata, padat, tetap homogen, dapat mengisi celah-celah tanpa terjadi keropos sehingga dapat digunakan sebagai salah satu solusi dari kesulitan dalam pengerjaan (Amiruddin dkk, 2014).

Menurut Herbudiman dan Siregar (2013), keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan beton SCC adalah sebagai berikut.

1. Tidak memerlukan pemadatan menggunakan *vibrator*.
2. Tenaga kerja yang diperlukan menjadi lebih sedikit.
3. Mengurangi kebisingan yang mengganggu lingkungan sekitar.
4. Pengecoran pada bagian elemen struktur beton yang sulit dipadatkan dengan *vibrator* menjadi lebih mudah.
5. Waktu pelaksanaan proyek menjadi lebih cepat.
6. Meningkatkan durabilitas struktur.

Selain kelebihan tersebut, beton SCC juga memiliki kekurangan sebagai berikut.

1. Dari segi biaya, beton SCC lebih mahal dari beton konvensional.
2. Bekisting tidak boleh mengalami kebocoran akibat keenceran campuran beton.
3. Beton tidak boleh mengalami segregasi namun tetap harus memenuhi syarat flowabilitas.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang membahas tentang penggunaan bahan tambah abu sekam padi pada beton SCC yaitu sebagai berikut.

2.2.1 Pengaruh Penambahan Sikafume Terhadap Kuat Tekan *Self Compacting Concrete* yang Menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N*.

Nugraha (2017), melakukan penelitian pengaruh penggunaan bahan tambah sika fume terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* yang menggunakan *superplasticizer viscocrete 3115N* dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan sikafume pada rentang 0% sampai 5% dan penggunaan *superplasticizer viscocrete 3115N* terhadap kuat tekan serta karakteristik beton SCC. Sampel benda uji dibuat berdasarkan variasi yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% serta ditambahkan juga *superplasticizer viscocrete 3115N* sebanyak 0,9% dari berat semen. Sampel beton diuji setelah berumur 28 hari dengan kuat tekan rencana sebesar 43 MPa. Nilai optimum penambahan sikafume pada campuran beton SCC terdapat pada penambahan sikafume sebesar 3% dari berat semen yang memberikan performa optimal beton dengan kuat tekan sebesar 50,54 MPa.

2.2.2 Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton.

Rahman (2018), melaksanakan penelitian mengenai pengaruh abu sekam padi sebagai material pengganti semen pada campuran beton *self-compacting concrete* terhadap kuat tekan dan porositas beton. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain proporsi campuran penggunaan abu sekam padi pada beton

SCC. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0% ASP + 1,2% *superplastizier*, 6% ASP + 0,95% *superplastizier*, 9% ASP + 0,99% *superplastizier*, dan 12% ASP + 1,15% *superplastizier*. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 30 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji yang telah berumur 28 hari. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini, untuk desain proporsi campuran beton SCC dengan penggunaan variasi abu sekam padi sebagai pengganti material semen pada variasi 9% ASP + 0,99% *superplastizier*, didapatkan nilai kuat tekan optimum yaitu sebesar 25,65 MPa dan porositas sebesar 0,18%. Disamping itu, penggunaan abu sekam padi sebesar 9% dengan penambahan *superplastizier* 0,99% menurunkan nilai dari kuat tekan sebesar 25,65 MPa yang cukup jauh apabila dibandingkan dengan hasil kuat tekan pada beton konvensional sebesar 34,14 MPa.

2.2.3 Karakteristik Beton SCC Dengan Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi.

Assalam dkk. (2019), melaksanakan penelitian mengenai karakteristik beton SCC dengan menggunakan bahan tambah abu sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *workability*, berat isi, dan waktu ikat pada beton segar serta untuk mendapatkan nilai optimum kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton keras. Variasi abu sekam padi yang digunakan yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan total 60 benda uji. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada saat benda uji mencapai umur 28 hari. Hasil dari penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Penggunaan bahan tambah abu sekam padi sebesar 5% dapat meningkatkan *workability* sebesar 9,09%.
2. Penggunaan bahan tambah abu sekam padi sebesar 5% dapat mempercepat waktu ikat sebesar 25,49%.
3. Penggunaan bahan tambah abu sekam padi sebesar 5% dapat menurunkan kuat tekan sebesar 6,37%, tetapi penggunaan bahan tambah abu sekam padi sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan.

4. Penggunaan bahan tambah abu sekam padi mengakibatkan turunnya nilai kuat tarik.

2.2.4 Pengaruh Penambahan Persentase *Sika fume* dan *Superplasticizer (Viscocrete 3115-N)* Pada Beton SCC Agar Memenuhi Syarat Mutu K-500.

Amal (2021), melaksanakan penelitian tentang pengaruh penambahan persentase *sika fume* dan *superplasticizer viscocrete 3115N* pada beton SCC dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *sika fume* pada rentang 5% sampai 10% dan penggunaan *superplasticizer viscocrete 3115N* terhadap kuat tekan, tarik belah, kuat lentur serta karakteristik beton SCC. Kadar *superplasticizer* yang digunakan yaitu 0,9% dari berat semen. Sampel beton diuji pada saat berumur 28 hari dengan kuat tekan beton rencana sebesar 41,5 MPa (K-500). Hasil dari penelitian ini didapatkan pada variasi 8% penambahan sikafume memiliki nilai optimum pada kuat tekan, tarik belah maupun kuat lentur. Pada penambahan sikafume 5%, 6% dan 10% tidak dapat dikatakan sebagai beton SCC karena pada saat pengujian syarat menjadi beton SCC terdapat pengujian yang tidak memenuhi persyaratan menurut EFNARC 2005.

2.2.5 Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton.

Farhan dkk. (2023), melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambahan terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambahan dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Kuat tekan rencana pada penelitian ini sebesar 20 MPa. Variasi penambahan abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 6%, 8%, 10%, dan 12%. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan beton terjadi pada penambahan variasi 6%, 8%, dan 10% abu sekam padi. Kekuatan tekan beton optimal diperoleh pada beton dengan penambahan abu sekam padi sebesar 10%, yakni 29,32 MPa. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebesar 25,41% dibandingkan dengan kekuatan tekan yang diperoleh pada beton normal (tanpa

limbah ASP), hasil ini membuktikan bahwa penggunaan limbah ASP sebagai bahan tambahan pada beton dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan beton.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat perbedaan dengan penelitian yang dilakukan penulis sekarang. Penelitian yang akan dilakukan adalah melakukan uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur terhadap beton SCC dengan bahan tambah berupa abu sekam padi sebesar 10% dan *sika fume* dengan variasi 0%, 3%, 5%, 8% dan 10% dari berat semen. Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari. Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggung jawabkan keasliannya.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Nugraha (2017)	Rahman (2018)	Assalam dkk. (2019)	Amal (2021)	Farhan dkk. (2023)	Penulis (2023)
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Sikafume Terhadap Kuat Tekan <i>Self Compacting Concrete</i> yang Menggunakan <i>Superplasticizer Viscocrete 3115N</i>	Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton <i>Self Compacting Concrete</i> (SCC) Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton	Karakteristik Beton SCC Dengan Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi	Pengaruh Penambahan Persentase Sikafume dan <i>Superplasticizer (Viscocrete 3115-N)</i> Pada Beton SCC Agar Memenuhi Syarat Mutu K-500	Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Sikafume Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beton SCC
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh <i>sika fume</i> pada variasi 0% sampai 5% terhadap kuat tekan serta karakteristik beton SCC yang menggunakan <i>superplasticizer viscocrete 311 N</i>	Untuk mendapatkan desain proporsi campuran penggunaan abu sekam padi pada beton SCC	Untuk mengetahui nilai <i>workability</i> , berat isi, dan waktu ikat pada beton segar serta untuk mendapatkan nilai optimum kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton keras	Untuk mengetahui apakah dengan menggunakan <i>superplasticizer viscocrete 3115N</i> dan penambahan <i>sika fume</i> dengan rentang 5% sampai 10% termasuk dalam beton SCC K-500 menurut EFNARC 2005	Untuk mengetahui bagaimana penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tembahan dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari	Untuk mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi dengan kadar 10% dan <i>sika fume</i> pada variasi 0%, 3%, 5%, 8% dan 10% terhadap kekuatan beton SCC berdasarkan EFNARC 2005.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Nugraha (2017)	Rahman (2018)	Assalam dkk (2019)	Amal (2021)	Farhan dkk. (2023)	Penulis (2023)
Metode Penelitian	Analisis perhitungan <i>mix design</i> , pengujian kuat tekan beton	Analisis perhitungan <i>mix design</i> , pengujian kuat tekan beton, dan porositas beton	Analisis perhitungan <i>mix design</i> , pengujian kuat tekan beton, dan pengujian kuat tarik belah beton	Analisis perhitungan <i>mix design</i> , pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan kuat lentur.	Analisis perhitungan <i>mix design</i> , pemeriksaan kandungan ASP, dan pengujian kuat tekan beton,	Analisis perhitungan <i>mix design</i> dan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton SCC
Parameter yang di uji	Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dengan penambahan variasi <i>sika fume</i>	Hasil pengujian kuat tekan dan porositas beton dengan variasi penambahan abu sekam padi	Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan variasi penambahan abu sekam padi	Hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton dengan variasi penambahan <i>sika fume</i>	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan abu sekam padi.	Hasil pengujian kuat tekan, kuat Tarik, dan kuat lentur dengan penambahan abu sekam padi dan variasi <i>sika fume</i>
Hasil Penelitian	Nilai optimum penambahan <i>sika fume</i> pada campuran beton SCC terdapat pada penambahan <i>sika fume</i> sebesar 3% dari berat semen	Desain proporsi campuran beton SCC dengan penggunaan variasi	Penggunaan bahan tambah ASP sebesar 5% dapat meningkatkan	Variasi 8% penambahan <i>sika fume</i> memiliki nilai yang paling optimum pada kuat tekan, tarik belah maupun kuat lentur.	Hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan beton terjadi pada penambahan variasi	

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Nugraha (2017)	Rahman (2018)	Assalam dkk (2019)	Amal (2021)	Farhan dkk. (2023)	Penulis (2023)
Hasil Penelitian	yang memberikan performa optimal beton dengan kuat desak sebesar 50,54 MPa. Penambahan <i>sika fume</i> dan <i>Superplasticizer viscocrete 3115N</i> terhadap campuran beton SCC dan masih menghasilkan beton SCC seperti yang disyaratkan EFNARC 2002, terdapat hingga variasi maksimum 3%.	Abu sekam padi sebagai pengganti material semen pada variasi 9% ASP + 0,99% <i>Superplastizier</i> , didapatkan nilai kuat tekan optimum yaitu sebesar 25,65 MPa dan porositas sebesar 0,18%.	<i>workability</i> sebesar 9,09%. Penggunaan bahan tambah ASP sebesar 5% dapat menurunkan kuat tekan sebesar 6,37%, tetapi penggunaan bahan tambah ASP sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan. Penggunaan bahan tambah ASP mengakibatkan turunnya nilai kuat tarik.	Pada penambahan <i>sika fume</i> 5%, 6% dan 10% tidak dapat dikatakan sebagai beton SCC karena pada saat pengujian syarat menjadi beton SCC terdapat pengujian yang tidak memenuhi persyaratan menurut EFNARC 2005.	6%, 8%, dan 10% abu sekam padi. Kekuatan tekan beton optimal diperoleh pada beton dengan penambahan abu sekam padi sebesar 10%, yakni 29,32 MPa. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan limbah ASP sebagai bahan tambahan pada beton dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan beton.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut Mulyono (2004), beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah. Beton terdiri atas bahan perekat (aktif) dan bahan yang diikat (pasif). Bahan aktif pada beton yaitu semen dan air yang berfungsi sebagai perekat sedangkan bahan pasif yaitu berupa agregat kasar dan agregat halus yang berperan sebagai pengisi.

Menurut Tjokrodinuljo (2007), beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain adalah sebagai berikut.

1. Kelebihan
 - a. Memiliki harga yang relatif murah karena material penyusunnya mudah didapat.
 - b. Beton tahan terhadap panas dan karat sehingga hanya membutuhkan sedikit biaya perawatan.
 - c. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi, apabila dikombinasikan dengan baja yang memiliki kuat lentur tinggi maka akan menjadi suatu kesatuan struktur yang tahan tekan maupun tarik.
 - d. Pengerjaan mudah karena beton dapat dicetak dan dibentuk sesuai keinginan.
2. Kekurangan
 - a. Beton memiliki beberapa kelas kekuatan sehingga harus direncanakan sesuai dengan kebutuhannya.
 - b. Material penyusun beton agregat halus maupun kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara pengerjaannya juga bermacam-macam.
 - c. Beton memiliki kuat tarik yang rendah sehingga mudah retak, rapuh, dan getas.

3.2 *Self-Compacting Concrete* (SCC)

3.2.1 Pengertian *Self-Compacting Concrete*

Self-Compacting Concrete (SCC) merupakan inovasi suatu campuran beton yang dapat mengalir dengan berat sendiri tanpa mengalami segregasi. Beton SCC tidak memerlukan alat pemadat (*vibrator*) pada saat pengecoran, hal ini dikarenakan beton SCC memiliki *flowability* yang tinggi sehingga mampu mengalir, mengisi ruang bekisting, dan mencapai kepadatan tertingginya (EFNARC 2005).

Komposisi campuran beton SCC sedikit berbeda dengan campuran beton konvensional. Untuk memperoleh beton yang dapat diklasifikasikan sebagai SCC, diperlukan penggunaan bahan tambah yang dapat mengurangi penggunaan air dan menghasilkan beton dengan tingkat kelecakan (*workability*) yang tinggi. Suatu campuran beton dapat disebut sebagai *self-compacting* jika dalam keadaan segar beton tersebut memenuhi persyaratan *workability* yaitu mampu mengisi ruang dengan baik (*filling ability*), mampu melewati tulangan (*passing ability*), dan tahan terhadap pengaruh pemisahan butiran (*segregation resistance*) (Assalam dkk, 2019).

Dengan menggunakan beton SCC, struktur beton *repair* menjadi lebih padat terutama pada area pembesian yang sangat rapat, dan waktu pelaksanaan pengecoran juga lebih singkat. Menurut Handayani (2020), keunggulan beton SCC diantara lain adalah sebagai berikut.

1. Sangat cair, bahkan dengan tambahan bahan kimia tertentu dapat mempertahankan *slump* tinggi dengan waktu yang lama.
2. Tidak perlu dilakukan pemadatan saat proses pengecoran, sehingga tidak menimbulkan polusi suara.
3. Lebih stabil dan homogen. Kuat tekan beton dapat dibuat untuk mutu tinggi atau sangat tinggi.
4. Dalam jangka panjang struktur lebih awet (*durability*).
5. Lebih kedap, porositas lebih kecil, dan susut rendah.
6. Tampilan permukaan beton lebih baik dan halus karena agregat yang digunakan berukuran kecil.

7. Tenaga kerja yang dibutuhkan semakin sedikit dikarenakan beton dapat mengalir dengan sendirinya sehingga dapat menghemat sekitar 50% dari upah pekerja.

Jenis beton *self-compacting concrete* dapat dibuat dengan menggunakan bahan tambah berupa *superplasticizer* yang bertujuan untuk mendispersikan dengan cara mencampurkan zat satu dengan zat lainnya sehingga dapat menyebarkan partikel semen secara merata. Komposisi agregat kasar pada beton konvensional umumnya mencapai 70-75% dari total volume beton. Sedangkan pada beton SCC agregat dibatasi jumlahnya sekitar 50% dari volume beton. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya alir beton. Namun penggunaan agregat halus yang berlebih akan mengurangi kuat tekan beton.

3.2.2 Karakteristik *Self-Compacting Concrete*

Menurut EFNARC (2005), suatu campuran beton dapat dikatakan SCC apabila memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Pada beton segar (*fresh concrete*)

Beton SCC dalam keadaan segar harus memiliki tingkat kelecakan (*workability*) yang baik, diantaranya memiliki kemampuan sebagai berikut.

- a. *Filling ability*, merupakan kemampuan beton SCC dalam mengalir dan mengisi ruang cetakan (bekisting) dengan berat sendiri. Untuk dapat mengetahui *filling ability* pada beton SCC dilakukan *slump flow test* menggunakan kerucut *abrams*.
- b. *Passing ability*, merupakan kemampuan beton SCC dalam mengalir dan melewati celah baja tulangan yang rapat tanpa mengalami segregasi atau *blocking*. *Passing ability* dapat diketahui nilainya melalui pengujian *L-Box*.
- c. *Segregation resistance*, merupakan kemampuan beton SCC untuk mempertahankan kondisi tetap homogen selama perjalanan sampai dengan pengecoran. *Segregation resistance* pada beton SCC dapat diketahui melalui pengujian viskositas beton menggunakan alat *V-Funnel* yang dinyatakan dalam besaran waktu.

2. Pada beton keras (*hardenend concrete*)
 - a. Memiliki tingkat ketahanan (*durability*) yang tinggi.
 - b. Mampu membentuk campuran beton yang homogen.
 - c. Memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas yang rendah.

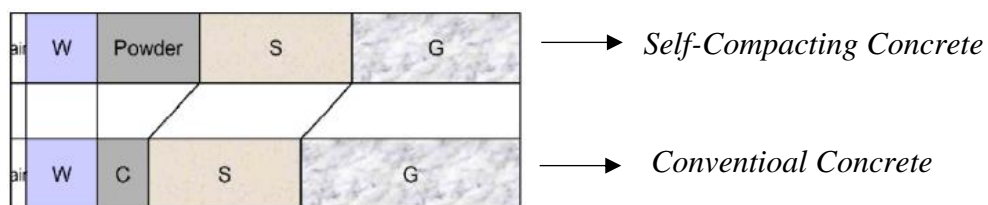
3.2.3 Syarat Beton SCC

Menurut EFNARC (2005), syarat beton SCC adalah sebagai berikut.

1. Ukuran maksimum agregat kasar yaitu 20 mm.
2. Kadar agregat halus $\geq 50\%$ dari berat total agregat.
3. Kadar agregat kasar $\leq 50\%$ dari berat total agregat.
4. Jumlah maksimal penggunaan air sebesar 200 kg/m³.
5. Diameter *slump flow* 640 mm sampai 800 mm.
6. $T_{50\text{cm}} \text{ slump flow}$ 2 detik – 5 detik.
7. *L-box ratio* antara H2 dengan H1 adalah 0,8 sampai 1,0.
8. *V-Funnel* antara 0 detik – 10 detik.

3.3 Bahan Penyusun Beton

Pada beton SCC perbedaan paling utama dengan beton konvensional adalah komposisi bahan yang digunakan, terutama pada penggunaan bahan pengisi (*filler*). Pasir halus dengan ukuran maksimum diameter (d_{max}) $\leq 0,125$ mm digunakan sebagai bahan pengisi dengan porsi yang sangat besar, mencapai 40% dari volume total campuran beton. Kehadiran bahan pengisi yang besar ini membuat campuran beton berperilaku sebagai pasta (Okamura dan Ouchi, 2003). Perbandingan proporsi campuran antara beton konvensional dengan SCC dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Perbandingan Proporsi Campuran Beton SCC dan Konvensional

(Sumber : Okamura dan Ouchi, 2003)

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat disimpulkan bahwa perbedaan antara proporsi campuran beton SCC dan konvensional terletak pada proporsi agregat kasar (G) dan jumlah *powder* (P) yang digunakan dalam campuran semen (C). *Powder* terdiri dari campuran semen dengan partikel-partikel halus lainnya dengan ukuran butiran $\leq 0,125$ mm seperti *fly ash* dan *silica fume*. Selain itu, *admixture* berupa *superplasticizer* juga digunakan pada campuran beton SCC. Jumlah air (W) dan pasir (S) tidak menunjukkan perbedaan yang berarti.

Pada umumnya material penyusun beton SCC tidak jauh berbeda dengan dengan beton konvensional. Beton tersusun atas agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Namun guna mencapai tujuan tertentu, dapat ditambahkan bahan tambah pada campuran beton. Bahan-bahan penyusun beton berperan penting dalam campuran beton. Selain itu, setiap bahan penyusun berdampak pada campuran beton terutama dalam menentukan mutunya. Dalam pembuatan beton SCC dibutuhkan ketelitian dalam pemilihan material dan juga saat pencampuran beton. Hal tersebut dimaksudkan agar tingkat *workability* beton dapat tercapai.

3.3.1 Semen Portland

Semen *Portland* adalah jenis semen hidrolik yang diproduksi melalui proses penggilingan terak semen. Terak semen yang digunakan terutama terdiri dari kalsium silikat yang dapat dihidrolisis. Selain itu, terak semen juga digiling bersama-sama dengan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat sebagai bahan tambahan dan dapat juga ditambah dengan bahan tambah lainnya (SNI-15-2049-2004). Semen *portland* merupakan salah satu semen hidrolik yang memiliki kemampuan bereaksi dengan air sehingga mampu mengeras di dalam air. Selain itu, semen ini juga tahan terhadap air dan stabil ketika telah mengeras di dalam air. Semen *portland* sering digunakan karena beton yang dihasilkan dari semen ini merupakan salah satu material konstruksi yang paling serbaguna.

Menurut SNI-15-2049 (2004), semen *portland* dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan kegunaannya yakni sebagai berikut.

1. Tipe I
Semen *portland* tipe I yaitu semen *portland* yang digunakan untuk konstruksi umum tanpa persyaratan khusus seperti pada jenis lainnya.
2. Tipe II
Semen *portland* tipe II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III
Semen *portland* tipe III yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal tinggi setelah terjadi pengikatan.
4. Tipe IV
Semen *portland* tipe IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Tipe V
Semen *portland* tipe V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.3.2 Agregat

Agregat adalah material butiran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan bersama dengan media perangkat untuk menghasilkan mortar semen hidrolis (SNI 2847:2013). Agregat berperan penting dalam campuran beton yaitu sebagai bahan pengisi dalam membentuk mortar semen. Meskipun dalam fungsinya agregat hanya berperan sebagai bahan pengisi, karena kuantitasnya cukup besar, agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton dan memberikan kekuatan beton. Agregat merupakan material yang menempati 70-75% dari keseluruhan volume beton dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas beton. Agregat dalam campuran beton dibedakan menjadi dua kelompok yaitu sebagai berikut.

1. Agregat Halus
Menurut SNI 03-1970 (2008), agregat halus merupakan hasil dari disintegrasi alami batuan atau pasir yang diproduksi oleh industri pemecah batu, dan memiliki ukuran butir maksimum 4,75 mm. Syarat – syarat agregat halus yang harus dipenuhi dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Maksimum kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah hancur adalah 0,5%.
- b. Persentase berat maksimum dari kadar lumpur atau partikel dengan ukuran butir kurang dari 75 mikron (ayakan No.200) yaitu sebesar 3% untuk beton yang mengalami abrasi dan 5% untuk beton jenis lainnya.
- c. Tidak terdapat zat organik yang berpotensi merusak beton dari segala aspek.
- d. Agregat halus yang digunakan untuk membuat beton dalam kondisi basah dan lembab secara terus menerus harus bebas dari bahan yang dapat bereaksi dengan alkali.
- e. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.
- f. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan			
	Daerah I (Kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : SNI 03-1970-2008

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-1969 (2008), agregat kasar merupakan kerikil yang terbentuk secara alami dari disintegrasi batuan atau dapat berupa batu pecah yang dihasilkan dari proses pemecahan batu di industri. Agregat kasar memiliki ukuran butir antara 4,75 mm hingga 40 mm. Syarat – syarat yang

harus dipenuhi untuk agregat kasar dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Agregat kasar yang digunakan memiliki karakter keras dan tidak berpori serta memiliki sifat yang tahan lama (tahan terhadap pengaruh cuaca hujan dan panas). Butiran pipih pada agregat hanya boleh digunakan maksimal 20% dari total berat agregat.
- b. Kadar lumpur maksimum pada agregat kasar adalah 1%.
- c. Agregat kasar harus bebas dari bahan – bahan yang dapat merusak beton.
- d. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali boleh dipakai bersama semen yang memiliki kadar alkali setara Natrium Oksida tidak lebih dari 0,6%, atau bisa ditambahkan bahan untuk mencegah terjadinya pemuaian yang dapat membahayakan karena reaksi dari alkali-agregat.
- e. Kekerasan agregat diperiksa dengan menggunakan mesin Los Angeles, dengan syarat bahwa tidak ada kehilangan berat lebih dari 50%. Persyaratan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	35 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

Sumber : SNI 03-1969-2008

3.3.3 Air

Air merupakan salah satu unsur penyusun beton yang digunakan untuk memicu reaksi kimia dari semen. Selain itu, air juga dipakai untuk melembapkan agregat dan memberikan kemudahan pengerjaan.

Tjokrodimuljo (1996) menyatakan bahwa semen hanya memerlukan sekitar 25% air dari beratnya untuk bereaksi. Namun dalam praktiknya, nilai faktor air semen yang digunakan sering kali kurang dari 0,35. Pemakaian air yang berlebihan dapat mengakibatkan terbentuknya banyak gelembung air setelah proses hidrasi

selesai. Disisi lain, kekurangan air dapat menghambat proses hidrasi secara keseluruhan.

Persyaratan air yang dapat digunakan untuk campuran beton menurut SNI 03-6861.1 (2002) adalah sebagai berikut.

1. Bersih, bebas dari endapan lumpur, minyak, dan benda apung lainnya.
2. Tidak mengandung senyawa perusak (asam, bahan organik) melebihi 0,5 gram/liter.
3. Tidak mengandung benda – benda tersuspensi melebihi 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) melebihi 0,5 gram/liter, khusus untuk beton pratekan yaitu tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,05 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) melebihi 1 gram/liter.

3.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan mineral agregat yang lolos saringan no.200 dan berfungsi untuk mengisi celah antara agregat kasar agar meminimalisir adanya rongga udara serta meningkatkan kerapatan dan stabilitas massa (Sukirman, 2003). Dalam penggunaan *filler* sebagai bahan tambahan aditif, diperlukan proporsi yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Fungsi *filler* dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Untuk meningkatkan ketahanan campuran beton terhadap suhu yang tinggi.
- b. Untuk meningkatkan daya tahan campuran beton terhadap retakan akibat panas dan penyusutan akibat perubahan reaksi kimia-fisika yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca.

3.5 Bahan Tambah

Bahan tambah ialah material yang dimasukkan kedalam campuran beton sebelum atau saat proses pencampuran berlangsung dengan tujuan untuk memperbaiki atau mengubah sifat – sifat beton pada saat masih segar ataupun setelah beton mengeras. Fungsi bahan tambah adalah untuk mengubah sifat – sifat beton sehingga lebih sesuai untuk pekerjaan tertentu dan juga dapat mengurangi biaya (Mulyono, 2004). Perlu perhatian khusus dalam penggunaan bahan tambah, karena penggunaan yang berlebihan dapat menurunkan kualitas beton yang

dihasilkan. Bahan tambah dibagi menjadi dua jenis, yaitu bahan tambah kimia dan bahan tambah mineral.

3.5.1 Bahan Tambah Kimia (*Chemical Admixture*)

Bahan tambah kimia ialah bahan tambah cairan kimia yang ditambahkan kedalam campuran beton untuk mempercepat atau memperlambat waktu ikat, mengurangi kebutuhan air, mempermudah pekerjaan (*workability*), meningkatkan nilai *slump*, dan lain sebagainya. Biasanya bahan tambah kimia ditambahkan kedalam campuran beton dalam jumlah yang kecil. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas campuran beton dan meningkatkan kinerja beton secara keseluruhan. Menurut SNI 2495 (1991), bahan tambah kimia dikelompokkan sebagai berikut.

1. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)

Water-Reducing Admixtures dapat diartikan sebagai zat tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air yang digunakan dalam proses pembuatan beton, sehingga menghasilkan beton dengan konsistensi yang diinginkan. Bahan tambah ini tidak memengaruhi kadar semen dan nilai *slump*, sehingga memungkinkan produksi beton dengan rasio faktor air semen (fas) yang rendah.

2. Tipe B (*Retarding Admixture*)

Retarding Admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi waktu ikat beton (*setting time*) sehingga memudahkan proses pengecoran.

3. Tipe C (*Accelerating Admixture*)

Accelerating Admixture adalah bahan tambahan yang bertujuan untuk mempercepat proses pengikatan dan pembentukan kekuatan awal pada beton. Fungsinya adalah untuk mengurangi hidrasi dan mempercepat pencapaian kekuatan awal beton.

4. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Water Reducing and Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi jumlah air dan menghambat waktu ikat beton. Bahan tambah dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton. Bahan tambah ini juga dapat digunakan untuk mengurangi kadar semen dengan

proporsi yang sama dengan pengurangan kadar air tanpa memodifikasi proporsi awal.

5. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water Reducing and Accelerating Admixtures merupakan bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi kadar air dan mempercepat proses pengikatan beton (*setting time*).

6. Tipe F (*Water Reducing, High Range Admixtures*)

Water Reducing, High Range Admixtures merupakan bahan tambah yang mempunyai peran untuk mengurangi jumlah air pada campuran beton sebesar 12% atau lebih, guna menghasilkan beton yang memiliki konsistensi yang diinginkan.

7. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berperan dalam mengurangi jumlah air pada campuran beton sebesar 12% atau lebih, sehingga menghasilkan beton dengan konsistensi yang diinginkan sekaligus memperlambat waktu ikat beton (*setting time*).

3.5.2 Bahan Tambah Mineral (*Mineral Admixture*)

Bahan tambah mineral merupakan bahan padat yang digiling untuk dicampurkan kedalam adukan beton dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik beton agar lebih mudah diolah serta meningkatkan daya tahan dan kekuatan beton. Bahan tambah mineral seperti *pozzolan*, abu terbang (*fly ash*), terak besi tanur tinggi, *silica fume*, abu sekam padi, dan lain sebagainya.

1. *Silica fume*

Silica fume adalah bahan butiran halus yang mengandung lebih dari 85% SiO_2 dan oleh karena itu dianggap sebagai *pozzolan*. Penggunaan *silica fume* dalam pembuatan beton memiliki keuntungan tersendiri, seperti meningkatkan *workability* dalam jangka waktu yang lama, meningkatkan ketahanan beton, mengurangi resapan air pada beton, dan meningkatkan kekuatan awal dan akhir beton. Penggunaan *silica fume* dapat mencapai 30% dengan atau tanpa *superplasticizer*.

3.5.3 Superplasticizer Viscocrete 3115N

Superplasticizer Viscocrete 3115N merupakan *superplasticizer* generasi ketiga yang digunakan pada campuran beton dan mortar yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia. *Superplasticizer Viscocrete 3115N* termasuk bahan tambah kimia tipe F (*high range water reducer*) yang difokuskan pada produksi beton yang memiliki kemampuan mengalir yang tinggi dengan mempertahankan tingkat *workability* yang optimal. Produk ini juga memfasilitasi pengurangan kadar air yang tinggi, memiliki kemampuan alir yang sangat baik, dan kemampuan *self-compacting* yang baik. Berdasarkan data teknis PT Sika Indonesia, Sika *Viscocrete 3115N* dapat digunakan untuk jenis beton sebagai berikut.

1. Beton dengan kemampuan mengalir yang tinggi.
2. Beton *Self-Compacting Concrete* (SCC).
3. Beton dengan tingkat pengurangan air yang sangat tinggi mencapai 30%.
4. Beton pra cetak.
5. Beton mutu tinggi.
6. Beton kedap air.

Sika *Viscocrete 3115N* bekerja melalui adsorpsi pada permukaan partikel semen yang menghasilkan efek pemisahan sterik. Produk ini tidak memuat unsur klorida ataupun unsur lain yang dapat mengakibatkan karat pada baja sehingga dapat digunakan secara bebas untuk pembuatan beton bertulang dan pra – tekan.

3.5.4 Sika Fume

Sika fume ialah bahan tambah mineral (*silica fume*) berupa bubuk halus berukuran 1/100 dari ukuran semen dan mengandung SiO_2 . *Sika fume* memegang peranan utama terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik dari beton. *Sika fume* merupakan salah satu produk dari PT Sika Indonesia yang digunakan untuk campuran beton dan mortar. Pada data teknis PT Sika Indonesia, keunggulan *sika fume* adalah sebagai berikut.

1. Meningkatkan durabilitas beton.
2. Meningkatkan kuat tekan beton.
3. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi.
4. Kekuatan awal dan akhir yang sangat tinggi.

5. Pori yang terdapat pada beton akan terisi oleh partikel *sika fume* yang sangat kecil, sehingga dapat mengurangi permeabilitas.

Sika fume sangat efektif digunakan pada beton SCC karena mampu menciptakan beton yang memiliki kuat tekan tinggi dan dapat meningkatkan kemampuan alir pada beton. *Sika fume* memiliki ukuran yang lebih kecil daripada butiran semen, yaitu sebesar 0,1 mikron dan diyakini dapat mengisi celah pada campuran beton sehingga mengurangi rongga udara dan meningkatkan kepadatan beton.

3.5.5 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan sisa pembakaran sekam padi yang biasanya digunakan pada pembuatan batu bata. Hasil pembakaran sekam padi menghasilkan abu sekam padi yang mengandung senyawa silika. Reaksi antara silika (SiO_2) yang terdapat dalam abu sekam padi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan dari hidrasi semen dapat menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH). Kalsium silikat hidrat (CSH) dapat meningkatkan kekuatan beton (Lubis, 2004).

Proses kimia yang berlangsung pada pengikatan dan pengerasan beton bergantung pada ketersediaan air. Meskipun pada kondisi normal, air cukup tersedia untuk hidrasi selama pencampuran, namun perlu dipastikan bahwa terdapat air yang masih terperangkap atau jenuh untuk memastikan kelanjutan proses kimia tersebut. Menurut Farhan dkk. (2023), penggunaan abu sekam padi dalam pencampuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton pada variasi penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen.



Gambar 3. 2 Abu Sekam Padi

3.6 Perencanaan Campuran Beton

Guna memperoleh campuran beton sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan, maka diperlukan perencanaan campuran (*mix design*) untuk mengetahui proporsi masing – masing material yang digunakan. Dikarenakan peraturan tentang beton SCC di Indonesia masih terbatas pada uji *mix design*, maka metode *mix design* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 dan EFNARC 2005. SNI 03-2834-2000 digunakan untuk perhitungan *mix desain*, sedangkan EFNARC 2005 digunakan sebagai persyaratan parameter penentuan campuran beton SCC. Berikut merupakan tahapan – tahapan *mix design* yang dilakukan.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan.

Pada penelitian ini digunakan kuat tekan rencana sebesar 41,5 MPa.

2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (Sd)

Untuk menentukan nilai deviasi standar dapat dilakukan dengan melihat Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat butir 4.2.3.1 1) (5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI-03-2834-2000

Catatan : Apabila jumlah benda uji yang digunakan kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa.

3. Menentukan nilai tambah (M)

Nilai tambah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$M = \text{Nilai Tambah}$$

$$1,64 = \text{Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase}$$

Kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S_r = Deviasi standar rencana

4. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

Untuk menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan menggunakan persamaan 3.2 berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

f'_{cr} = Kuat tekan yang ditargetkan (Mpa)

f'_c = Kuat tekan beton rencana (Mpa)

M = Nilai tambah (MPa)

5. Menetapkan jenis semen

Jenis semen dapat mempengaruhi kekuatan beton. Dalam penelitian ini digunakan semen tipe I dengan merek Holcim (*dynamix*).

6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, agregat halus terdiri dari empat kategori berdasarkan gradasinya, yakni pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Untuk agregat kasar terbagi menjadi dua kelompok yaitu kerikil alami dan kerikil batu pecah.

7. Menentukan faktor sir semen (fas)

Perbandingan antara berat air dan berat semen pada campuran beton disebut faktor air semen (fas). Semakin tinggi kekuatan beton yang direncanakan, semakin rendah nilai faktor air semen yang diperoleh. Untuk menentukan faktor air semen dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 3.4 dan Gambar 3.2 berikut.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan Fas 0,5

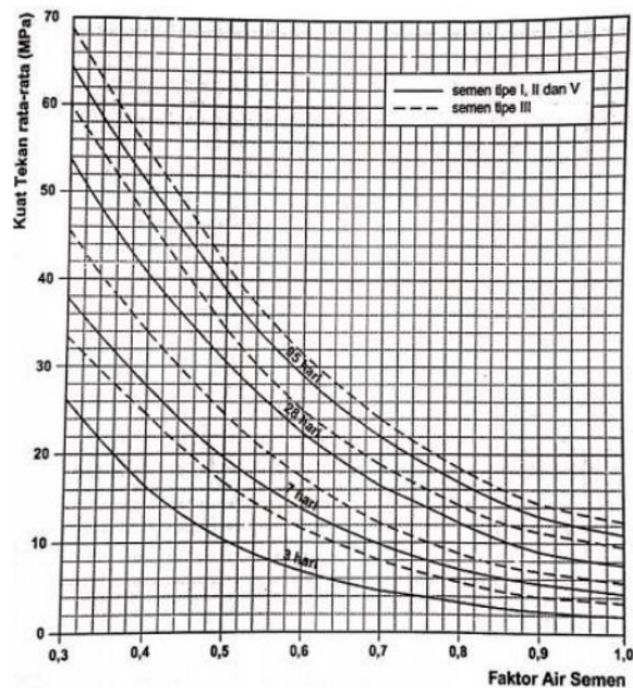
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	

Lanjutan Tabel 3.4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)					Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				29	
		3	7	28	29		
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	25	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber : SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 3.4 dapat ditentukan jenis semen, jenis agregat kasar, bentuk benda uji, dan umur rencana yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum yang dapat dicapai dengan nilai fas 0,5. Selanjutnya menentukan kurva lengkung berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh dari tabel diatas dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.3 berikut.

**Gambar 3. 3 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen**

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Menentukan nilai *slump*

Nilai *slump* merupakan parameter untuk mengetahui tingkat kelecakan beton yang nantinya akan berpengaruh pada kemudahan pengerjaan (*workability*). Penetapan nilai *slump* sesuai dengan pemakaian beton dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Penetapan Nilai *Slump* Berdasarkan Pemakaian Beton

Pemakaian Beton	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi,dan pondasi tapak	125	50
Pondasi tapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom. Dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber : SNI 03-2834-2000

9. Menentukan ukuran butir agregat. Berdasarkan EFNARC (2005), ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan beton SCC sebesar 20 mm.

10. Menentukan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas ditentukan menggunakan Tabel 3.6 dan persamaan 3.3 berikut.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air per M³ Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber SNI 03-2834-2000

$$W = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (3.3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)

11. Menentukan kebutuhan semen

Untuk mendapatkan jumlah kebutuhan semen, dihitung menggunakan persamaan 3.4 berikut.

$$c = \frac{w}{f_{as}} \quad (3.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

f_{as} = Faktor air semen

12. Menentukan kadar semen minimum

Kadar semen minimum ditetapkan berdasarkan Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

Lanjutan Tabel 3. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m³ Beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah	325	0,55
a. Mengalami keadaan basah dan kering bergantian		
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan		Tabel 6
a. Air tawar		
b. Air laut		

Sumber SNI 03-2834-2000

13. Menentukan susunan butir agregat halus

Pada penentuan susunan butir agregat halus, diawali dengan melakukan pengujian analisis saringan untuk menentukan gradasi yang akan digunakan pada agregat halus.

14. Menentukan berat jenis agregat halus dan agregat kasar

Untuk menentukan berat jenis agregat halus dan kasar, diawali dengan pengujian berat jenis untuk mendapatkan nilai berat jenis pada agregat dan yang digunakan adalah berat jenis SSD.

15. Menentukan persentase agregat halus

Persentase agregat halus yang digunakan pada pembuatan beton SCC harus lebih dari 50% total agregat, hal ini bertujuan agar beton dapat mengalir dan mengisi ruang dengan mudah. Berdasarkan EFNARC (2005), menetapkan jumlah persentase agregat halus harus lebih besar daripada agregat kasar.

16. Menghitung berat jenis relatif agregat

Berat jenis relatif agregat dihitung menggunakan persamaan 3.5 berikut.

$$BJ_{gab} = \%Ag.Halus \times B_{jAg.halus} + \%Ag.Kasar \times B_{jAg.kasar} \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

BJ_{gab} = Berat jenis relatif/gabungan agregat

%Ag. Halus = Persentase agregat halus (%)

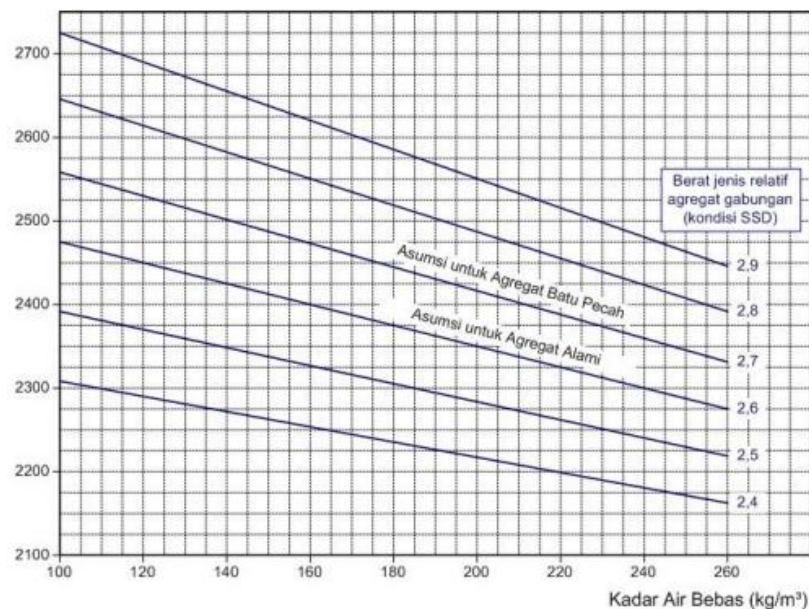
%Ag. Kasar = Persentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag. halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag. kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

17. Menentukan berat isi beton

Kadar air bebas dan berat jenis relatif digunakan untuk menentukan berat isi beton menggunakan Gambar 3.4 berikut.



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

18. Menentukan kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 berikut.

$$W_{Ag. gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$W_{Ag. gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{beton} = Berat isi beton (kg/m^3)

W_{semen} = Kadar semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

19. Menentukan berat agregat halus menggunakan persamaan 3.7 berikut.

$$W_{\text{ag. halus}} = \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{ag. gab}} \quad (3.7)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{\text{ag. halus}} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$\% \text{Ag. Halus} = \text{Persentase agregat halus (\%)}$$

$$W_{\text{ag. gab}} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

20. Menentukan kadar agregat kasar menggunakan persamaan 3.8 berikut.

$$W_{\text{ag. kasar}} = W_{\text{ag. halus}} \times W_{\text{ag. gab}} \quad (3.8)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{\text{ag. kasar}} = \text{Kadar agregat kasar (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{ag. halus}} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{ag. gab}} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

3.7 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton keras dalam menahan gaya aksial per satuan luas. Penentuannya dapat dilakukan melalui uji tekan dengan menggunakan mesin uji tekan (*compression testing machine*), yaitu nilai tekanan aksial per satuan luas yang dapat menyebabkan kehancuran benda uji beton. Berdasarkan PBI (1971), kekuatan tekan standar dihitung pada usia beton 28 hari karena pada saat itu beton memiliki kekuatan tekan 100%. Kekuatan beton berdasarkan umur beton dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3. 8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton

Umur (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Kuat Tekan (%)	40	65	88	95	100	120	135

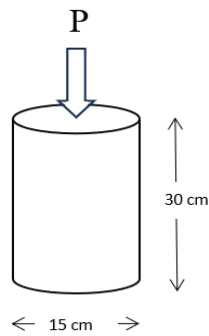
Sumber : PBI 1971

Beton mempunyai kekuatan tekan beton yang kuat namun kekuatan tariknya lemah. Berdasarkan SNI 03-1974 (2011), nilai kekuatan tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.9 berikut.

$$f^c = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$f'c$	= Kuat tekan beton (N/mm ²)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm ²)



Gambar 3. 5 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton

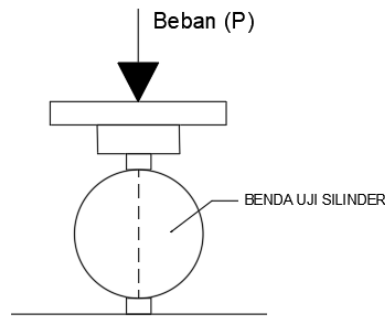
3.8 Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah beton dapat diartikan sebagai besarnya beban yang diberikan pada sampel benda uji yang ditempatkan secara horizontal sejajar dengan permukaan meja penekan saat ditekan oleh mesin uji. Berdasarkan SNI 2491 (2014), uji tarik belah dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan struktur komponen beton yang menggunakan agregat terkait ketahanan geser. Pengujian kuat tarik belah dilakukan menggunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10 berikut.

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (3.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

T	= Kuat tarik belah (MPa)
P	= Beban maksimum (N)
L	= Panjang benda uji (mm)
D	= Diameter benda uji (mm)



Gambar 3. 6 Sketsa Uji Kuat Tarik Belah Beton

3.9 Kuat Lentur

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang ditempatkan pada dua tumpuan untuk menahan gaya yang diberikan pada benda uji dengan arah tegak lurus sumbu benda tersebut sampai benda uji tersebut patah dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa). Pada pengujian kuat lentur terdapat dua metode pembebanan yaitu metode pembebanan satu titik dan dua titik. Pada penelitian ini, digunakan metode pembebanan satu titik sesuai dengan SNI 4154-2014. Ukuran benda uji yang digunakan untuk uji kuat lentur pada penelitian ini adalah 100 mm x 100 mm x 400 mm. Nilai kuat lentur dapat dihitung menggunakan persamaan 3.11 berikut.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut,

R = Kuat lentur beton (Mpa atau N/mm²)

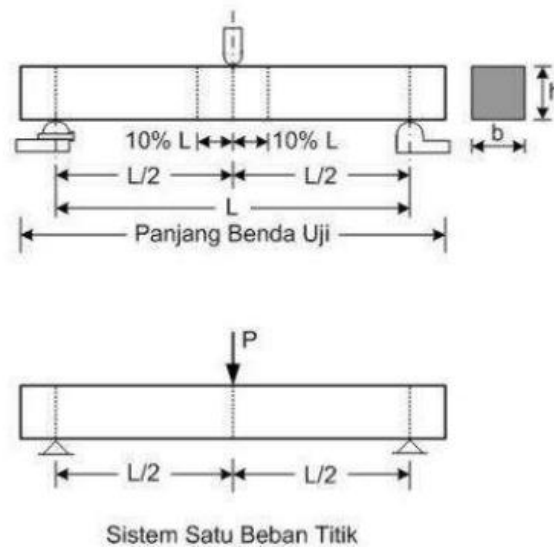
P = Beban maksimum yang menyebabkan keruntuhan pada balok uji (N)

L = Panjang bentang antar kedua tumpuan (mm)

b = Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

d = Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

Sketsa perletakan dan pembebanan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3. 7 Perletakan dan Pembebanan Uji Kuat Lentur Beton

(Sumber : Modul Praktikum Lab BKT UII)

3.10 Korelasi

Korelasi mengacu pada hubungan atau keterikatan antara berbagai parameter seperti kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton. Korelasi digunakan untuk memahami bagaimana karakteristik beton berinteraksi satu sama lain dan bagaimana perubahan pada satu sifat dapat mempengaruhi sifat lainnya. Korelasi antara kuat tarik belah dan kuat tekan didefinisikan sebagai hubungan antara kemampuan beton untuk menahan tekanan terhadap kemampuannya untuk menahan gaya tarik. Menurut SNI 2847 (2019) bahwa kekuatan tarik belah beton setara dengan $0,56\sqrt{f^c}$.

Kuat lentur beton memiliki korelasi terhadap kuat tekan beton yaitu, semakin tinggi kuat tekan beton maka kuat lentur juga semakin tinggi (Samosir, 2020). Berdasarkan SNI 2847 (2019) bahwa kekuatan lentur beton setara dengan $0,62\sqrt{f^c}$. Perlu diketahui bahwa korelasi yang didapatkan sangat bervariasi tergantung pada komposisi campuran, bahan tambah yang digunakan, dan kondisi *curing*.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu suatu metode penelitian dengan maksud untuk melakukan identifikasi hubungan sebab akibat dari satu atau lebih variabel terkait dengan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu keadaan yang terkendali. Penelitian yang dilakukan meliputi 4 tahapan yaitu pengujian agregat, perencanaan *mix design*, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini yaitu abu sekam padi dan *sika fume*. Persentase abu sekam padi yang digunakan sebesar 10% sesuai dengan nilai optimum pada penelitian sebelumnya (Farhan dkk, 2023). Kadar *sika fume* yang digunakan yaitu sebesar 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10% dari berat semen. Pada penelitian ini juga menggunakan *superplasticizer viscocrete 3115N* dengan kadar sebesar 0,9% yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Ikbal, 2016). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas

Variabel bebas yang dimaksud dalam penelitian ini meliputi kadar bahan tambah abu sekam padi dan *sika fume*.

2. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan kuat lentur beton.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu dimensi benda uji, bentuk benda uji, dan kuat tekan beton rencana ($f'c$).

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton SCC pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen *portland* berfungsi sebagai pengikat dalam campuran beton. Semen yang digunakan dalam penelitian adalah semen tipe I dengan merk Holcim (*dynamix*), dikarenakan menurut penelitian sebelumnya semen merk ini memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan merk lain.

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng dan memiliki ukuran maksimal 20 mm berdasarkan EFNARC 2005.

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sungai Progo. Diperlukan analisis saringan dan lolos saringan No.200 untuk mengidentifikasi daerah gradasi dan persentase lumpur dalam agregat.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratoruim Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Secara visual air tidak berwarna dan tidak berbau.

5. Bahan tambah

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini berupa bahan tambah mineral yaitu abu sekam padi dan *sika fume*.

4.4 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Adapun peralatannya adalah sebagai berikut.

1. **Piknometer**
Piknometer merupakan suatu alat yang digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus.
2. **Timbangan**
Timbangan digunakan untuk menimbang berat material yang akan digunakan dalam membuat benda uji.
3. **Ayakan**
Ayakan yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan *mesh* yang nantinya akan digunakan untuk pengujian analisa saringan agregat kasar dan agregat halus.
4. **Neraca *Ohaus***
Neraca *ohauss* memiliki fungsi yang sama dengan timbangan tetapi tingkat ketelitiannya lebih baik. Neraca *ohauss* juga digunakan untuk menimbang berat material yang akan digunakan dalam membuat benda uji.
5. **Ember**
Ember atau wadah berfungsi untuk menampung material yang nantinya akan dimasukkan ke dalam mesin pengaduk beton.
6. **Cetakan Benda Uji**
Cetakan atau bekisting memiliki fungsi sebagai wadah dalam membentuk beton. Cetakan benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta balok dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm.
7. **Oven**
Pada penelitian ini oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar.
8. ***Concrete Mixer***
Concrete mixer digunakan untuk mencampurkan material seperti semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah sesuai proporsinya masing-masing.

9. Kerucut *Abrams*

Kerucut *abrams* digunakan untuk pengujian *slump flow* pada beton segar sebelum dituang ke dalam cetakan benda uji.

10. Sekop

Pada penelitian ini sekop digunakan untuk menuangkan beton segar ke dalam cetakan benda uji.

11. Mesin Uji Kuat Tekan

Mesin uji kuat tekan digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan terhadap sampel benda uji silinder dengan cara diberi beban secara vertikal hingga benda uji mengalami keruntuhan.

12. Mesin Uji Kuat Tarik Belah

Mesin uji kuat tarik belah digunakan untuk mengetahui nilai kuat tarik belah terhadap sampel benda uji silinder, dengan posisi benda uji tertidur yang diberi beban secara vertikal hingga benda uji mengalami keruntuhan.

13. Mesin Uji Kuat Lentur

Mesin uji kuat lentur digunakan untuk melakukan pengujian kuat lentur terhadap sampel benda uji balok dengan cara diberi beban secara vertikal tepat ditengah-tengah bentang hingga benda uji mengalami keruntuhan.

4.5 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat berdasarkan penambahan kadar abu sekam padi sebesar 10% dengan variasi penambahan *sika fume* 0%, 3%, 5%, 8%, dan 10%. Dibuat juga benda uji beton normal dengan *superplasticizer* sebanyak 0,9%, kadar abu sekam padi sebesar 0%, dan *sika fume* sebesar 0%. Pada pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 5 buah pada tiap variasinya dan untuk uji kuat tarik belah sebanyak 3 buah pada tiap variasinya. Pada uji kuat lentur beton menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm sejumlah 3 buah pada tiap variasinya. Menurut SNI 2493 (2011), jumlah benda uji untuk tiap pengujian sebanyak 3 buah atau lebih tergantung pada kebiasaan dan sifat program pengujian. Rincian kebutuhan benda uji dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Jumlah Benda Uji Setiap Variasi

Mutu Beton	Variasi	Umur Beton	Jumlah Benda Uji		
			Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tarik Belah	Uji Kuat Lentur
41,5 MPa	ASP 0% - SF 0%	28 Hari	5	3	3
	ASP 10% - SF 0%		5	3	3
	ASP 10% - SF 3%		5	3	3
	ASP 10% - SF 5%		5	3	3
	ASP 10% - SF 8%		5	3	3
	ASP 10% - SF 10%		5	3	3
Jumlah			30	18	18
			66		

Dengan keterangan sebagai berikut.

- ASP 0% - SF 0% = Abu sekam padi 0% dan *Sika fume* 0%
 ASP 10% - SF 0% = Abu sekam padi 10% dan *Sika fume* 0%
 ASP 10% - SF 3% = Abu sekam padi 10% dan *Sika fume* 3%
 ASP 10% - SF 5% = Abu sekam padi 10% dan *Sika fume* 5%
 ASP 10% - SF 8% = Abu sekam padi 10% dan *Sika fume* 8%
 ASP 10% - SF 10% = Abu sekam padi 10% dan *Sika fume* 10%

4.6 Pelaksanaan Penelitian

4.6.1 Persiapan

Tahapan persiapan adalah tahap awal sebelum pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari beberapa sumber seperti jurnal dan buku. Selain itu, penyiapan terhadap bahan dan alat juga dilakukan demi kelancaran selama penelitian berlangsung.

4.6.2 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat merupakan pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar yang bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat sebelum dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*). Adapun macam-macam pengujian terhadap agregat halus dan kasar beserta standar yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume padat dan volume gembur agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume padat dan volume gembur agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998.
7. Pengujian lolos saringan no. 200 / kandungan lumpur mengacu pada SNI 4142-1996.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dibuat berdasarkan ketentuan dari EFNARC 2005 *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* dan SNI 03-2834-2000 sebagai standar pembuatan beton karena di Indonesia belum ditetapkan peraturan pembuatan *mix design* beton SCC. EFNARC 2005 dijadikan sebagai parameter persyaratan material beton SCC dan SNI 03-2834-2000 digunakan untuk menentukan proporsi penggunaan semen, jumlah agregat yang dibutuhkan, dan jumlah air yang dibutuhkan dalam pembuatan beton SCC. Ukuran agregat kasar yang disyaratkan maksimal 20 mm dan persentase agregat halus yang digunakan sebesar 51% mengacu pada penelitian Amal (2021). Perhitungan *mix design* dapat dilihat pada bab V.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* Umur 7 Hari

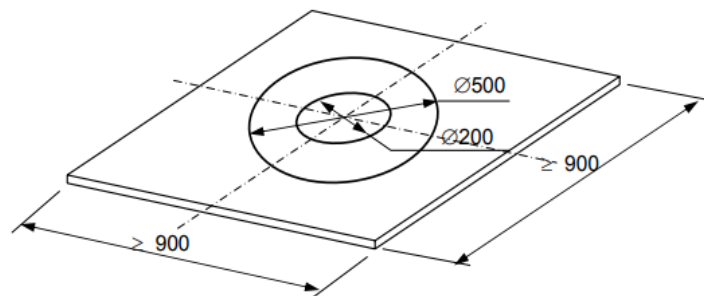
Pembuatan dan pengujian benda uji *trial* dilakukan berdasarkan hasil perhitungan *mix design*. Tujuan dari pembuatan dan pengujian benda uji *trial* yaitu untuk mengetahui kesesuaian apakah hasil dari perhitungan *mix design* telah mencapai mutu rencana dan apabila hasil pengujian sudah sesuai maka penelitian dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

4.6.5 Pengujian Karakteristik Beton SCC

Standar yang digunakan mengacu pada EFNARC 2005 sebagai patokan dalam pembuatan beton SCC. Pengujian dilakukan terhadap beton segar untuk mengetahui karakteristik dari beton SCC. Pengujian yang dilakukan meliputi uji *slump flow T50*, *V-Funnel*, dan *L-Box* dengan cara pengujian sebagai berikut.

1. Uji *slump flow*

Uji *slump flow* bertujuan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton dalam mengalir dan mengisi seluruh ruang bekisting dengan berat sendiri. Dalam pengujian ini, digunakan kerucut *abrams* dan meja khusus yang memiliki lingkaran berdiameter 500 mm untuk mengetahui kemampuan penyebaran beton. Berdasarkan EFNARC (2005), waktu yang dibutuhkan beton segar pada saat kerucut *abrams* diangkat sampai menyentuh lingkaran berdiameter 500 adalah 2-5 detik (T50) dan diameter akhir dari penyebaran beton yang disyaratkan pada saat beton berhenti mengalir adalah sebesar 640-800 mm.



Gambar 4. 1 Meja Khusus Pengujian *Slump Flow*

(Sumber : EFNARC 2005)

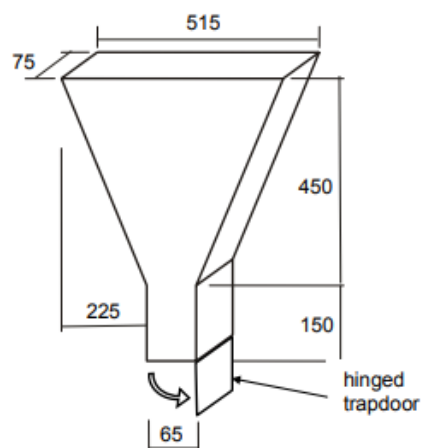
Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Mempersiapkan alat berupa *stopwatch*, kerucut *abrams*, dan meja khusus uji *slump flow* pada tempat yang datar.
- b. Mempersiapkan beton segar yang akan diuji.
- c. Letakkan kerucut *abrams* secara terbalik diatas meja uji dan isi dengan campuran beton sampai penuh.

- d. Angkat secara perlahan kerucut *abrams* hingga beton menyebar dan catat waktu yang dibutuhkan untuk beton dapat mengalir mencapai diameter 500 mm. waktu yang disyaratkan yaitu 2-5 detik.
- e. Ukur diameter penyebaran beton segar saat beton berhenti mengalir. Diameter yang disyaratkan yaitu 640-800 mm.

2. Uji *V-funnel*

Uji *v-funnel* bertujuan untuk mengukur viskositas beton SCC dalam mempertahankan komposisi yang seragam dan tidak mengalami segregasi selama waktu pengangkutan hingga mencapai ujung dari corong *v-funnel*. Berdasarkan EFNARC 2005, waktu yang disyaratkan untuk mengosongkan tabung *v-funnel* yaitu 0-10 detik.



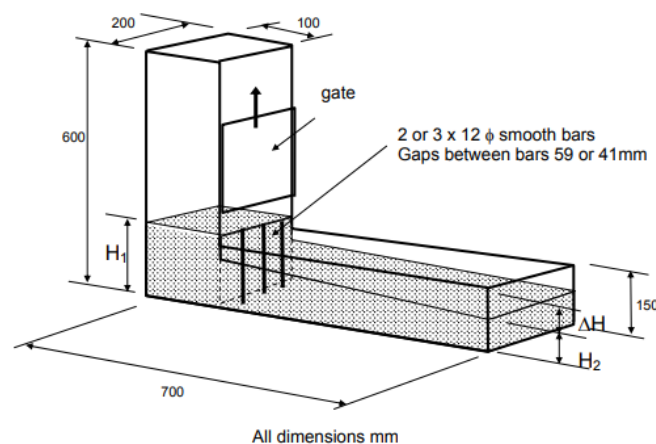
Gambar 4. 2 Alat Uji *V-funnel*
(Sumber : EFNARC 2005)

Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Mempersiapkan alat uji *v-funnel* dan *stopwatch* serta beton segar yang akan diuji.
- b. Masukkan beton segar kedalam tabung *v-funnel* hingga penuh.
- c. Buka penutup bagian bawah sehingga beton segar dapat mengalir dan catat waktu yang diperlukan untuk mengosongkan tabung *v-funnel*.

3. Uji *L-Box*

Uji *L-Box* bertujuan untuk mengukur *passing ability* beton SCC yaitu kemampuan beton dalam mengisi ruang dan mengalir melewati celah tulangan tanpa terjadinya penyumbatan. Hasil dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai *blocking ratio*. *Blocking ratio* merupakan nilai yang didapatkan dari perbandingan H_1 dan H_2 . Berdasarkan EFNARC (2005), nilai H_2/H_1 yang disyaratkan yaitu 0,8-1,0.



Gambar 4.3 Alat Uji *L-Box*

(Sumber : EFNARC 2005)

Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- Mempersiapkan alat uji *L-Box* dan pastikan sekat penutup sudah tertutup rapat.
- Beton segar diisikan pada bagian vertikal hingga penuh dan diamankan selama 60 detik.
- Kemudian sekat penutup dibuka sehingga campuran beton mengalir ke bagian horizontal.
- Catat waktu pada saat sekat dibuka sampai dengan beton berhenti mengalir.
- Ukur ketinggian H_2 dan H_1 kemudian lakukan perbandingan untuk mendapatkan nilai *blocking ratio*. Jika nilai yang didapat semakin besar, maka beton semakin mudah mengalir.

4.6.6 Pengujian Sampel Benda Uji

Pengujian dilakukan terhadap sampel benda uji yang sudah melewati masa perawatan selama 28 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan, uji kuat tarik belah, dan uji kuat lentur dengan cara pengujian sebagai berikut.

1. Uji kuat tekan beton

Uji kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan terhadap sampel benda uji silinder dengan cara diberi beban secara vertikal hingga benda uji mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan menggunakan alat *compressing test machine*.

Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan penimbangan dan pengukuran dimensi benda uji.
- b. Benda uji diletakkan secara sentris pada mesin *compressing test machine*.
- c. Menjalankan mesin *compressing test machine* hingga benda uji mengalami keruntuhan.
- d. Melakukaan pembacaan terhadap beban dan catat pada form.
- e. Melakukan analisa hasil pengujian sesuai dengan SNI 03-1974-2011.

2. Uji kuat tarik belah beton

Uji kuat tarik belah beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik belah terhadap sampel benda uji silinder, dengan posisi benda uji tertidur yang diberi beban secara vertikal hingga benda uji mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan menggunakan alat *compressing test machine*.

Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan penimbangan dan pengukuran dimensi benda uji.
- b. Benda uji diletakkan dengan posisi tertidur pada mesin *compressing test machine*.
- c. Menjalankan mesin *compressing test machine* hingga benda uji mengalami keruntuhan.
- d. Melakukaan pembacaan terhadap beban dan catat pada form.
- e. Melakukan analisa hasil pengujian sesuai dengan SNI-2491-2014.

3. Uji kuat lentur beton

Uji kuat lentur beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat lentur beton terhadap sampel benda uji balok dengan cara diberi beban secara vertikal tepat ditengah-tengah bentang hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Langkah pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan penimbangan dan pengukuran dimensi benda uji balok.
- b. Membuat garis pada benda uji balok untuk menandakan penempatan beban pada tengah balok.
- c. Benda uji balok diletakkan pada mesin uji sesuai dengan tumpuannya dan sesuaikan letak pembebanannya.
- d. Setelah semua tahapan telah selesai dilakukan, sampel uji siap untuk diuji dan ditambahkan dial untuk membaca penurunan sebelum dilakukan pembebanan.
- e. Melakukaan pembacaan terhadap beban dan catat pada form.
- f. Melakukan analisa hasil pengujian sesuai dengan SNI-4154-2014.

4.6.7 Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan perbandingan berdasarkan kategori variabel tertentu untuk memperoleh nilai yang terjadi seperti hubungan sebab akibat yang berkaitan dengan uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur serta perbedaan antara variasi bahan tambah yang digunakan terhadap mutu beton SCC.

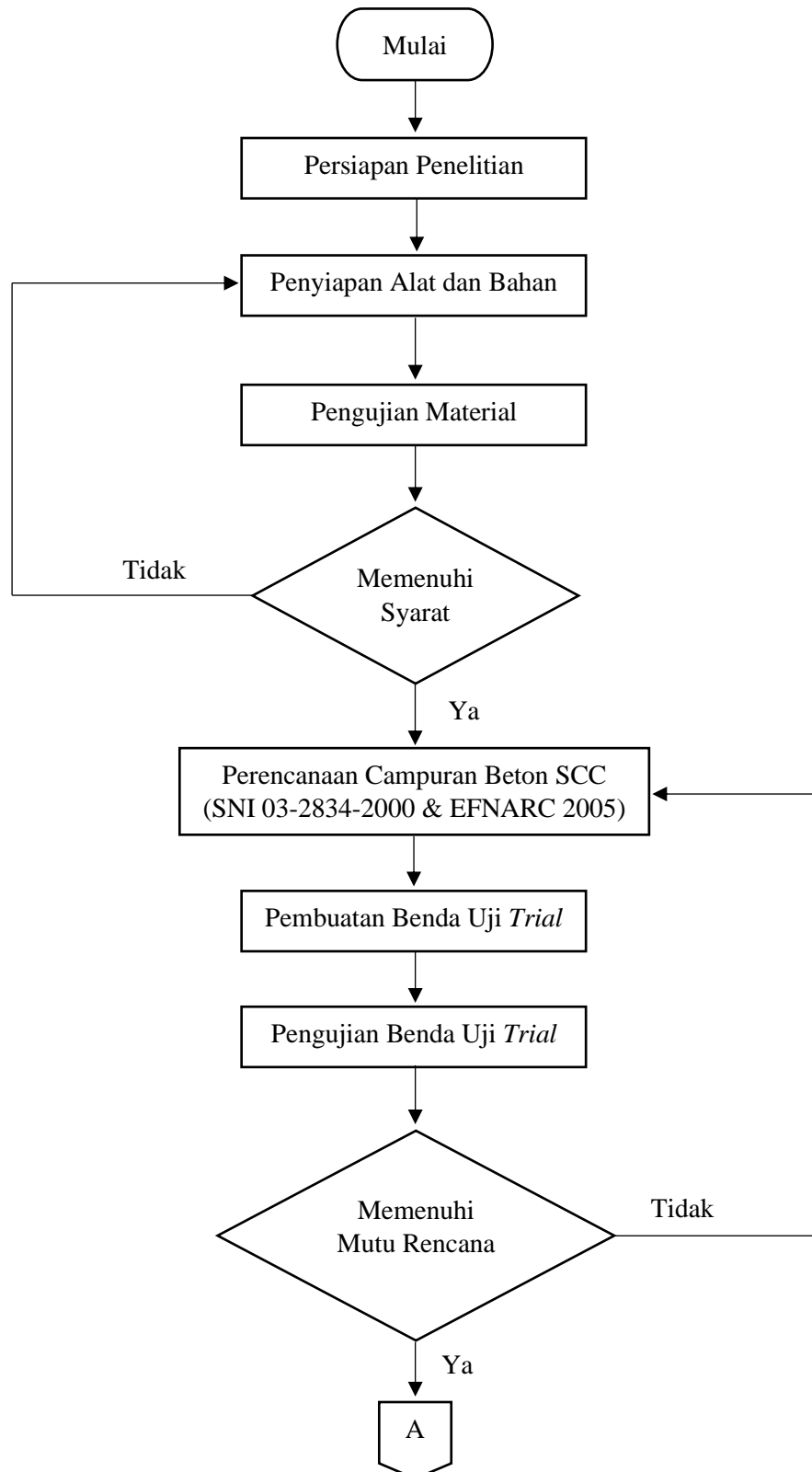
4.6.8 Pembahasan

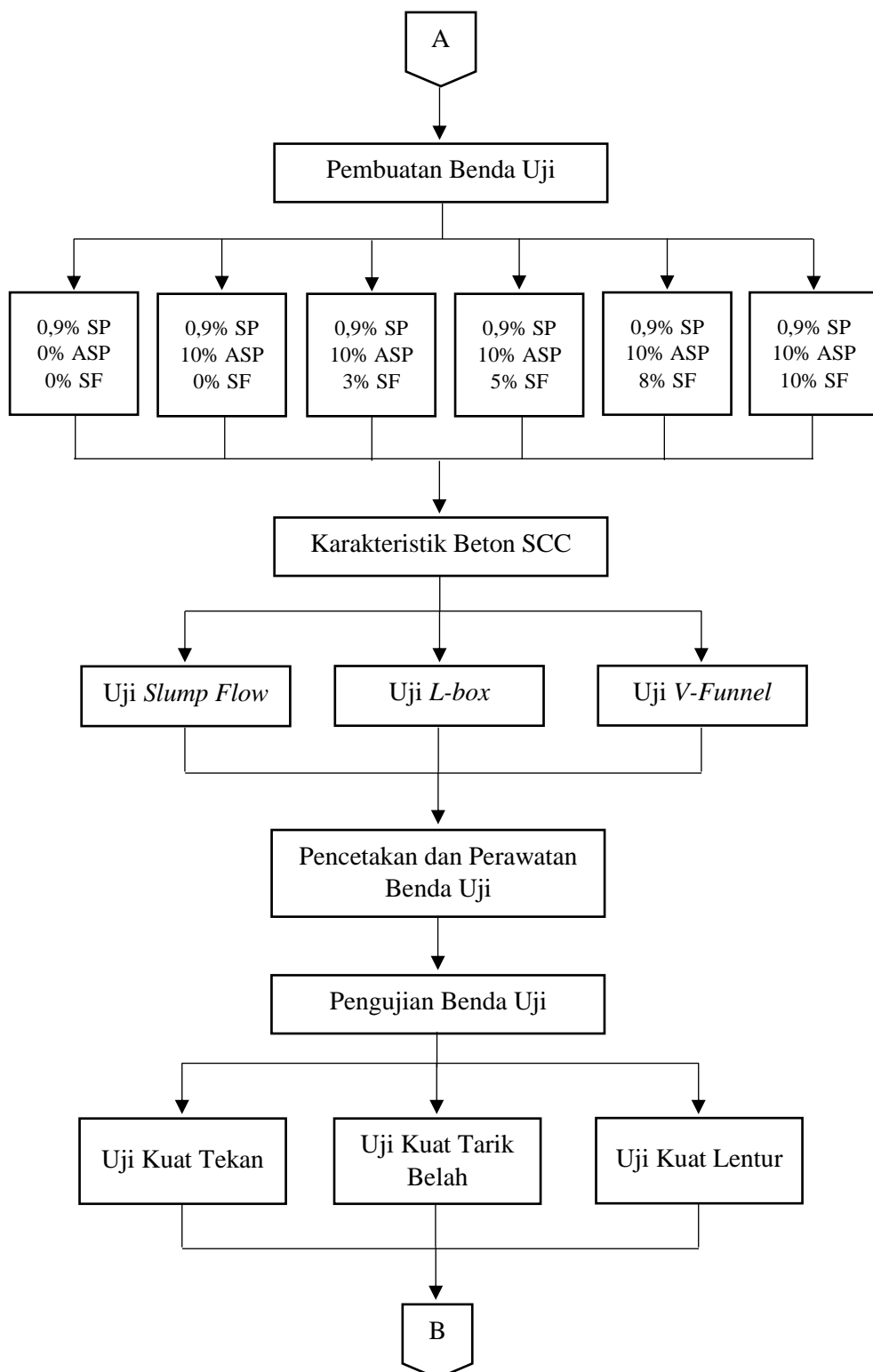
Pada tahap ini, penulis melakukan pembahasan untuk memperoleh jawaban atau kesimpulan atas perbedaan yang ditemukan pada tahap analisis data yang telah dilakukan sebelumnya.

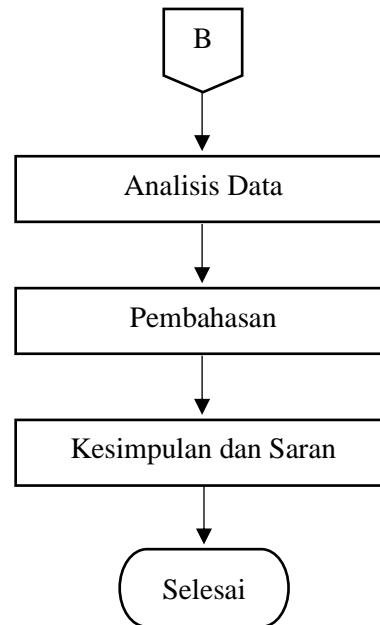
4.6.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dalam penelitian ini akan menghimpun semua data yang telah dianalisis, kemudian disusun menjadi suatu kesimpulan yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Selain itu juga akan diberikan saran untuk penelitian berikutnya.

4.7 Diagram Alir Penelitian







Gambar 4. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari penelitian yang telah dilakukan meliputi pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar, perencanaan campuran beton (*mix design*), pengujian karakteristik beton segar SCC, pengujian kuat tekan beton SCC, pengujian kuat tarik belah beton SCC, dan pengujian kuat lentur beton SCC umur 28 hari. Hasil pengujian yang telah dianalisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mendukung tercapainya tujuan penelitian ini.

5.2 Pemeriksaan Agregat

Material penyusun yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat dan ketentuan yang telah ditetapkan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian atau pemeriksaan agregat sebelum agregat tersebut digunakan dalam membuat beton. Pemeriksaan agregat sebagai material penyusun beton dibagi menjadi dua yaitu pemeriksaan agregat halus dan pemeriksaan agregat kasar.

5.2.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik agregat halus yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Pemeriksaan agregat halus yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian modulus halus butir, pengujian berat volume gembur dan padat, dan pengujian lolos saringan no. 200 (kadar lumpur).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1970-1990. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air agregat halus. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah
$$= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{478}{(670+500-984)}$$

$$= 2,570$$

b. Berat Jenis SSD

$$= \frac{500}{(B+500-Bt)}$$

$$= \frac{500}{(670+500-984)}$$

$$= 2,688$$

c. Berat Jenis Semu

$$= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$= \frac{478}{(670+478-984)}$$

$$= 2,915$$

d. Penyerapan air

$$= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{500-478}{478} \times 100\%$$

$$= 4,60 \%$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2 untuk kemudian didapatkan nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut. Hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Penelitian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	478	478	478
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	984	970	977
Berat piknometer berisi air, gram (B)	670	660	665
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,570	2,516	2,54
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,688	2,632	2,66
Berat jenis semu (Bk/(B+Bk-Bt))	2,915	2,845	2,88
Penyerapan air ((500-Bk)/Bk x 100%)	4,60%	4,60%	4,60%

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,66. Berdasarkan SK SNI T-15 (1990), hasil

tersebut sudah memenuhi syarat untuk agregat normal dengan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) berada pada rentang 2,5-2,7.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1968-1990 dengan tujuan untuk mengklasifikasikan agregat halus berdasarkan ukuran butiran. Dari pengujian ini didapatkan berat tertinggal pada masing-masing saringan. Hasil penimbangan yang sudah dicatat kemudian digunakan untuk menentukan modulus halus butir (MHB) dan gradasi agregat. Adapun perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{9}{2000} \times 100\% \\ &= 0,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{121}{2000} \times 100\% \\ &= 6,05\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{222}{2000} \times 100\% \\ &= 11,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{420}{2000} \times 100\% \\ &= 21,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{707}{2000} \times 100\% \\ &= 35,35\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{429}{2000} \times 100\% \\ &= 21,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{92}{2000} \times 100\% \\ &= 4,60\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,80 mm} = 0,45\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,40 mm} = 0,45\% + 6,05\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 6,50\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 6,50\% + 11,10\% \\
 &= 17,60\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 17,60\% + 21,00\% \\
 &= 38,60\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 38,60\% + 35,35\% \\
 &= 73,95\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 73,95\% + 21,45\% \\
 &= 95,40\% \\
 \text{Pan} &= 95,40\% + 4,60\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= 100\% - 0,45\% \\
 &= 99,55\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 6,50\% \\
 &= 93,50\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 100\% - 17,60\% \\
 &= 82,40\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 100\% - 38,60\% \\
 &= 61,40\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 100\% - 73,95\% \\
 &= 26,05\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 100\% - 95,40\% \\
 &= 4,60\% \\
 \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2 untuk kemudian didapatkan rekapitulasi hasil perhitungan sampel 1 dan sampel 2 dalam bentuk tabel. Rekapitulasi data perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan 5.3 berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	9	0,45	0,45	99,55
2,40	121	6,05	6,50	93,50
1,20	222	11,10	17,60	82,40
0,60	420	21,00	38,60	61,40
0,30	707	35,35	73,95	26,05
0,15	429	21,45	95,40	4,60
Pan	92	4,60	100	0
Jumlah	2000	100	232,5	-

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

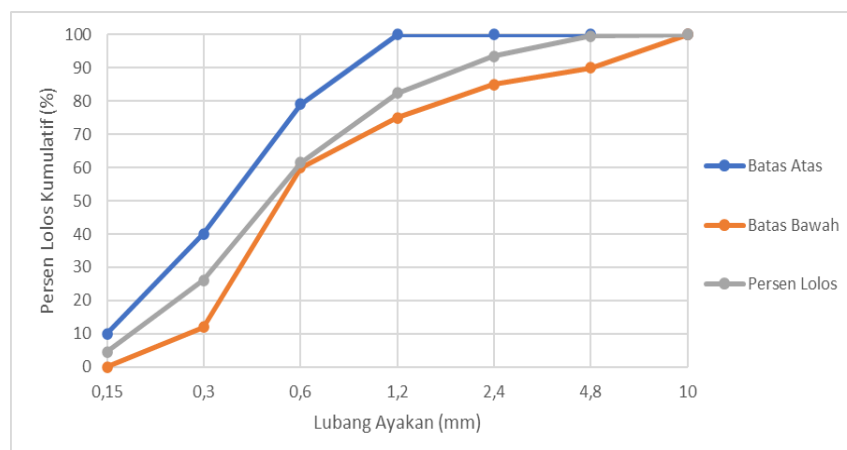
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	6	0,30	0,30	99,70
2,40	125	6,25	6,55	93,45
1,20	234	11,70	18,25	81,75
0,60	418	20,90	39,15	60,85
0,30	695	34,75	73,90	26,10
0,15	428	21,40	95,30	4,70
Pan	94	4,70	100	0
Jumlah	2000	100	233,5	-

d. Modulus Halus Butir (MHB)

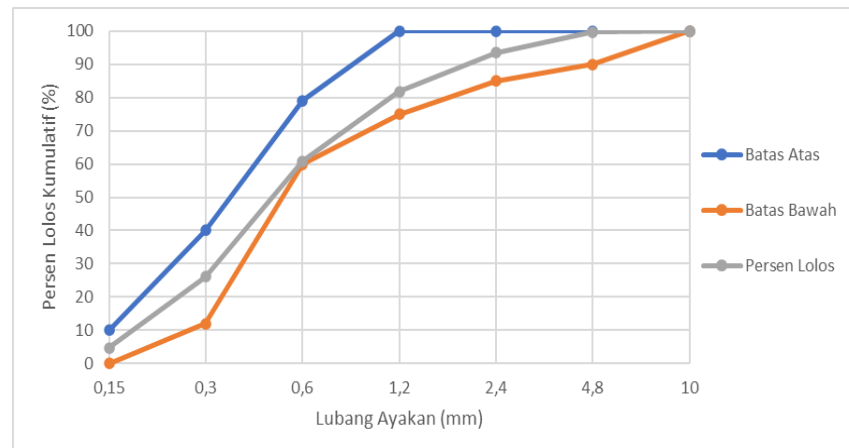
$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MHB sampel 1} &= \frac{232,50}{100} \\
 &= 2,325 \\
 \text{MHB sampel 2} &= \frac{233,45}{100} \\
 &= 2,335 \\
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\
 &= 2,33
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Pada dasarnya agregat halus memiliki modulus halus butir pada rentang 1,5-3,8 (Tjokrodinuljo, 2007). Hasil yang telah didapatkan dari pengujian modulus halus butir tersebut digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat halus. Penentuan daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.1 dengan menggunakan persentase berat butiran agregat lolos ayakan. Daerah gradasi yang diperoleh dari pengujian modulus halus butir berada pada daerah gradasi III yaitu daerah gradasi dengan jenis pasir agak halus. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998 dan bertujuan untuk mengetahui berat volume gembur dan padat agregat halus serta dapat digunakan untuk menghitung persentase penyusutan pada perencanaan campuran beton (*mix design*). Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 17861 - 11191 \\ &= 6670 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,94^2 \times 30,10 \\ &= 5276,64 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{6670}{5276,64} \\ &= 1,26 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 18992 - 11191 \\ &= 7801 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,94^2 \times 30,10 \\
 &= 5276,64 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7801}{5276,64} \\
 &= 1,48 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk perhitungan sampel 2 dapat dihitung dengan cara yang sama dengan sampel 1. Hasil perhitungan kedua sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	17861	17230	17545,5
Berat agregat (W_3), gram	6670	6537	6603,5
Diameter tabung (d), cm	14,94	14,92	14,93
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,14	30,12
Volume tabung (V), cm^3	5276,64	5269,52	5273,08
Berat volume gembur, gram/cm^3	1,26	1,24	1,25

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	18992	18530	18761
Berat agregat (W_3), gram	7801	7837	7819
Diameter tabung (d), cm	14,94	14,92	14,93
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,14	30,12
Volume tabung (V), cm^3	5276,64	5269,52	5273,08
Berat volume padat, gram/cm^3	1,48	1,48	1,48

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 diatas didapatkan berat volume gembur rata-rata agregat halus yaitu sebesar 1,25 gram/cm³ dan berat volume padat rata-rata agregat halus yaitu sebesar 1,48 gram/cm³.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur) Agregat Halus
 Pengujian lolos saringan no.200 (kadar lumpur) agregat halus mengacu pada SNI 4142-1996. Perhitungan lolos saringan no.200 (kadar lumpur) pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur sampel 1} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{500-490}{500} \times 100\% \\ &= 2,00\% \end{aligned}$$

Untuk perhitungan pada sampel 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan sampel 1 kemudian didapatkan rata-ratanya. Rekapitulasi hasil perhitungan pada sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur)

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	490	491	491
Kadar lumpur [(W1-W2)/W1] x 100%	2,00%	1,80%	1,90%

Dari hasil Tabel 5.6 didapatkan rata-rata kadar lumpur pada agregat halus sebesar 1,90%. Sehingga, agregat halus dapat langsung digunakan dalam pembuatan beton tanpa harus dicuci terlebih dahulu. Berdasarkan PBI (1971), syarat kandungan lumpur dalam agregat halus tidak lebih dari 5%.

5.2.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan bagian dari komponen penyusun beton. Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar sama halnya dengan pengujian pada agregat halus. Terdapat sedikit perbedaan yaitu pada agregat kasar tidak diuji kadar lumpur karena dalam pelaksanaannya agregat kasar dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengujian properties agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan

penyerapan air, pengujian analisa saringan agregat kasar, dan pengujian berat volume agregat kasar.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1969-1990 dengan tujuan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air agregat kasar. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{4792}{(5000 - 3035)} \\
 &= 2,439 \\
 \text{b. Berat Jenis SSD} &= \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{5000}{(5000 - 3035)} \\
 &= 2,545 \\
 \text{c. Berat Jenis Semu} &= \frac{Bk}{(Bk - Ba)} \\
 &= \frac{4792}{(4792 - 3035)} \\
 &= 2,727 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4792}{4792} \times 100\% \\
 &= 4,34 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2 untuk kemudian didapatkan nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut. Hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4792	4796	4794
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3035	3040	3037,5
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,439	2,447	2,44
Berat jenis kering muka (SSD) (Bj/(Bj-Ba))	2,545	2,551	2,55
Berat jenis semu (Bk/(Bk-Ba))	2,727	2,731	2,73
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%	4,34%	4,25%	4,30%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar memiliki nilai sebesar 2,55. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa agregat kasar masuk dalam kategori agregat normal dan sudah memenuhi syarat, karena syarat berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar berada pada rentang 2,5-2,7 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tjokrodinuljo pada tahun 2007.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilaksanakan sesuai dengan SNI 1968-1990. Sampel yang digunakan untuk pengujian ini adalah kerikil dengan berat 5000 gram. Dari pengujian ini didapatkan berat tertinggal disetiap nomor saringan. Perhitungan analisa saringan agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{10}{5000} \times 100\% \\ &= 0,20\% \end{aligned}$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = \frac{3631}{5000} \times 100\%$$

$$= 72,62\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{1191}{5000} \times 100\%$$

$$= 23,82\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{12}{5000} \times 100\%$$

$$= 0,24\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{8}{5000} \times 100\%$$

$$= 0,16\%$$

$$\text{Pan} = \frac{148}{5000} \times 100\%$$

$$= 2,96\%$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 20 mm} = 0\% + 0,20\%$$

$$= 0,20\%$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = 0,20\% + 72,62\%$$

$$= 72,82\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 72,82\% + 23,82\%$$

$$= 96,64\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 96,64\% + 0,24\%$$

$$= 96,88\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 96,88\% + 0,16\%$$

$$= 97,04\%$$

$$\text{Pan} = 97,04\% + 2,96\%$$

$$= 100\%$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 100\% - 0\%$$

$$= 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 20 mm} = 100\% - 0,20\%$$

$$= 99,80\%$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = 100\% - 72,82\%$$

$$= 27,18\%$$

Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 96,64%
	= 3,36%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 96,88%
	= 3,12%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 97,04%
	= 2,96%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Selanjutnya untuk perhitungan sampel 2 dapat dihitung dengan cara yang sama dengan sampel 1. Hasil perhitungan kedua sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	10	0,2	0,2	99,80
10,00	3631	72,62	72,82	27,18
4,80	1191	23,82	96,64	3,36
2,40	12	0,24	96,88	3,12
1,20	8	0,16	97,04	2,96
0,60	0	0	97,04	2,96
0,30	0	0	97,04	2,96
0,15	0	0	97,04	2,96
Pan	148	2,96	100	0
Jumlah	5000	100	654,7	-

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	3527	70,54	70,54	29,46
4,80	1314	26,28	96,82	3,18
2,40	14	0,28	97,10	2,90
1,20	6	0,12	97,22	2,78
0,60	0	0	97,22	2,78
0,30	0	0	97,22	2,78
0,15	0	0	97,22	2,78
Pan	139	2,78	100	0
Jumlah	5000	100	653,3	-

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Persentase Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

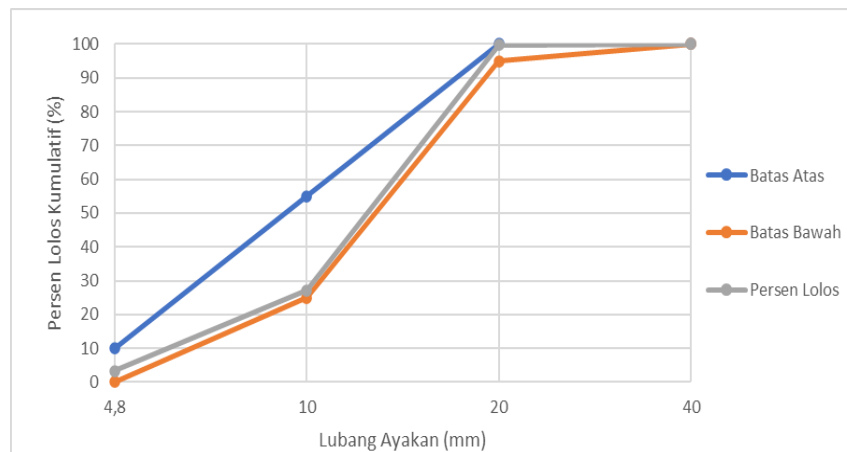
$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{654,7}{100} \\ &= 6,547 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{653,34}{100} \\ &= 6,533 \end{aligned}$$

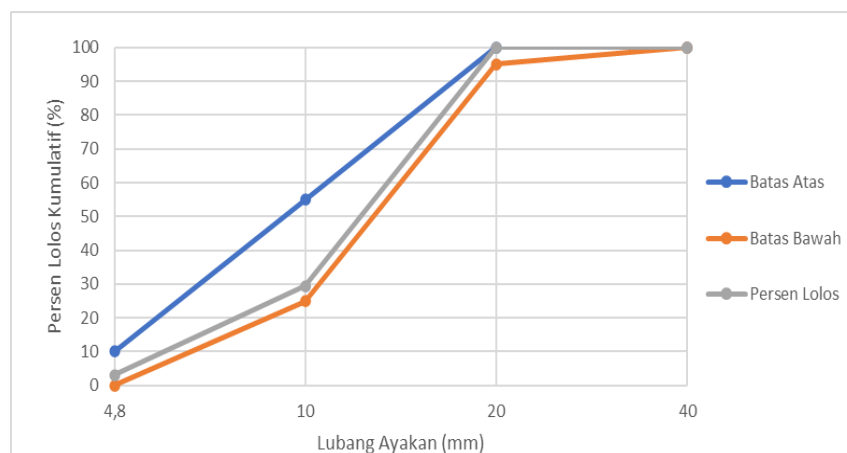
$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 6,540 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat kasar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat kasar pada dasarnya memiliki modulus halus butir yang berkisar antara 5-8. Hasil dari pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan ukuran maksimum pada agregat kasar. Penentuan ukuran maksimum agregat kasar dilakukan berdasarkan persentase berat butir agregat yang lolos ayakan, dan dapat dilihat pada Tabel 3.2. Hasil

penentuan ukuran maksimum agregat kasar mengindikasikan bahwa ukuran maksimum berada disekitar 20 mm, dan grafik yang menunjukkan hubungan antara persentase butir lolos kumulatif dengan ukuran ayakan terdapat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan pedoman yang tercantum dalam SNI 4804-1998 dan bertujuan untuk mengetahui berat volume gembur dan padat agregat kasar serta dapat digunakan untuk menghitung persentase penyusutan pada perencanaan campuran beton (*mix design*). Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur Agregat Kasar

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18378 - 11191 \\
 &= 7187 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,96^2 \times 30,14 \\
 &= 5297,80 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7187}{5297,80} \\
 &= 1,36 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat Agregat Kasar

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19254 - 11191 \\
 &= 8063 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,96^2 \times 30,14 \\
 &= 5297,80 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8063}{5297,80} \\
 &= 1,52 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk perhitungan sampel 2 dapat dihitung dengan cara yang sama dengan sampel 1. Hasil perhitungan kedua sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W ₁), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W ₂), gram	18378	17836	18107
Berat agregat (W ₃), gram	7187	7143	7165

Lanjutan Tabel 5. 10 Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter tabung (d), cm	14,96	14,95	14,96
Tinggi tabung (t), cm	30,14	30,11	30,13
Volume tabung (V), cm ³	5297,80	5285,46	5273,08
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,36	1,35	1,36

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W ₁), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W ₂), gram	19254	18891	19072,5
Berat agregat (W ₃), gram	8063	8198	8130,5
Diameter tabung (d), cm	14,96	14,95	14,96
Tinggi tabung (t), cm	30,14	30,11	30,13
Volume tabung (V), cm ³	5297,80	5285,46	5273,08
Berat volume padat, gram/cm ³	1,52	1,55	1,54

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 diatas didapatkan berat volume gembur agregat kasar rata-rata yaitu sebesar 1,36 gram/cm³ dan berat volume padat agregat kasar rata-rata yaitu sebesar 1,54 gram/cm³.

5.3 Perencanaan Campuran Beton SCC (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) untuk beton SCC di Indonesia masih dalam tahap inovasi dan belum terdapat pedoman yang jelas untuk menentukan campuran beton SCC. Pada umumnya perencanaan campuran beton SCC dilakukan menggunakan metode *trial mix*. Namun pada penelitian ini menggunakan peraturan yang terdapat pada EFNARC 2005 *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* dan SNI 03-2834-2000. Adapun perencanaan mutu untuk beton SCC yang direncanakan adalah 41,5 MPa. Dalam perancangan *mix design* ini menggunakan agregat kasar dengan ukuran maksimal 20 mm dan persentase agregat halus harus lebih dari 50% dari total agregat (EFNARC 2005). Persentase agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini

sebesar 51% mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Amal (2021). Berikut merupakan *mix design* beton SCC.

1. Kuat tekan yang direncanakan (f^c) = 41,5 MPa.
2. Menentukan nilai deviasi standar (Sd)
Sampel silinder yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 8 buah, maka berdasarkan Tabel 3.3 digunakan nilai margin (M) / nilai tambah sebesar 12 Mpa.
3. Kuat tekan beton rencana yang ditargetkan

$$f^{cr} = f^c + M$$

$$f^{cr} = 41,5 + 12$$

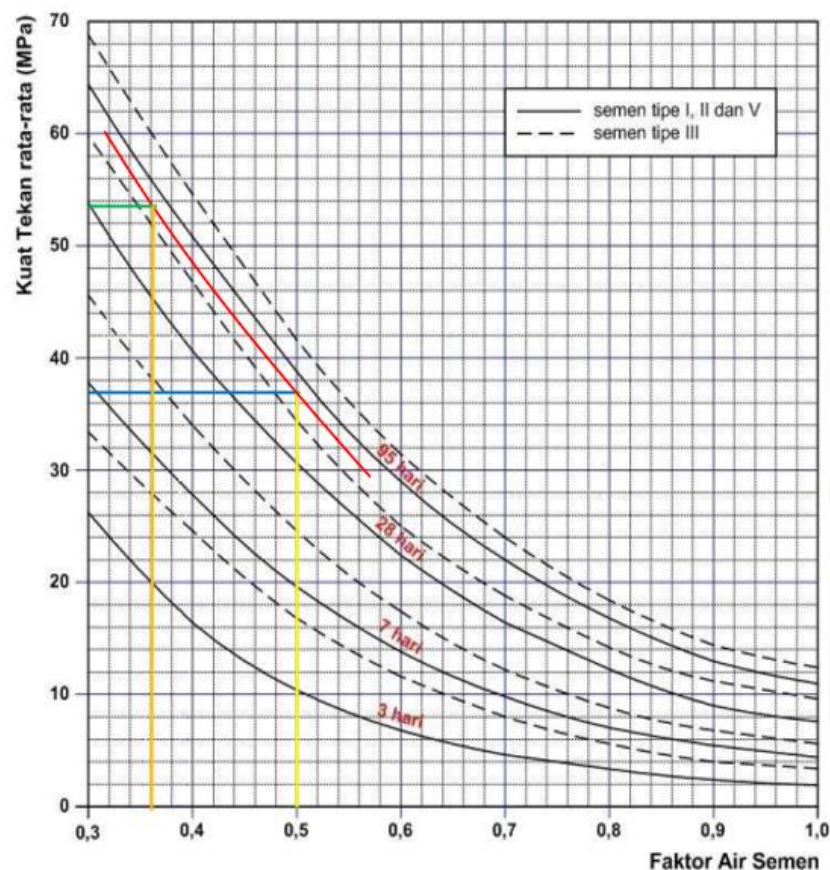
$$f^{cr} = 53,5 \text{ Mpa}$$
4. Jenis semen yang digunakan adalah semen PCC tipe 1 dengan merek Holcim (*Dynamix*).
5. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimal 20 mm dan berasal dari Clereng, Kulon Progo.
6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo, Kulon Progo.
7. Menentukan faktor air semen (fas) dengan menggunakan grafik 1 SNI 03-2834-2000 atau dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 yang digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- Berdasarkan Tabel 5.12, jenis semen yang digunakan yaitu tipe 1, jenis agregat kasar yaitu batu pecah, benda uji berbentuk silinder dan diperoleh perkiraan kuat tekan pada umur 28 hari adalah 37 MPa.
- Tarik garis berwarna biru pada kuat tekan 37 MPa sampai menyentuh garis kuning pada nilai fas 0,5. Maka diperoleh garis lengkung berwarna merah yang merupakan perpotongan dari garis biru dan kuning. Dapat dilihat pada Gambar 5.5.
- Kemudian tarik garis berwarna hijau pada $f'_{cr} = 53,5$ MPa hingga menyentuh garis lengkung berwarna merah, lalu tarik garis kebawah berwarna orange sehingga didapatkan nilai fas = 0,36. Dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Menentukan kebutuhan air

Tabel 5. 13 Perkiraan Kebutuhan Air per-m³ Beton (liter)

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- Berdasarkan Tabel 5.13, ditetapkan ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah 20 mm.
- Nilai *slump* berpengaruh terhadap *workability* beton. Oleh karena itu, ditetapkan nilai *slump* sebesar 30-60 mm.

- Didapatkan jenis batuan :

$$\text{Batu tak dipecah (Wh)} = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Batu pecah (Wk)} = 210 \text{ mm}$$

- Menghitung kebutuhan air

$$\begin{aligned} w &= \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \\ &= \frac{2}{3} 180 + \frac{1}{3} 210 \\ &= 190 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Berdasarkan EFNARC (2005), kadar air bebas untuk beton SCC tidak boleh melebihi 200 kg/m³.

9. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum

Tabel 5. 14 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m ³ Beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
c. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
d. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar bangunan		
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,55
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
c. Mengalami keadaan basah dan kering bergantian	325	0,55
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan		
c. Air tawar		Tabel 6
d. Air laut		

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- a. Diambil jenis pembetonan diluar bangunan dengan kondisi tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.
 - b. Diperoleh kebutuhan semen minimum sebesar 325 kg/m³ dengan nilai fas maksimum sebesar 0,55.
10. Menentukan kadar semen digunakan

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{w}{fas} \\
 &= \frac{190}{0,36} \\
 &= 527,778 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Nilai fas yang digunakan adalah nilai fas terkecil yaitu 0,36 dan didapatkan kadar semen sebesar 527,778 kg/m³ dari perhitungan. Sedangkan kadar

semen minimum berdasarkan Tabel 5.14 sebesar 325 kg/m^3 . Sehingga kadar semen yang digunakan adalah sebesar $527,778 \text{ kg/m}^3$.

11. Menentukan persentase agregat kasar dan agregat halus

Dalam proses pembuatan beton SCC, persentase penggunaan agregat halus dan agregat kasar sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Persentase agregat halus yang digunakan pada pembuatan beton SCC lebih besar daripada persentase agregat kasar. Hal ini dimaksudkan agar beton dapat mengalir mengisi ruang bekisting dengan berat sendiri dan ukuran agregat kasar yang digunakan harus dibatasi maksimal 20 mm agar beton mampu melewati celah antar tulangan yang sempit. Berdasarkan EFNARC (2005), persentase agregat kasar yang disyaratkan yaitu $< 50\%$. Persentase agregat yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada penelitian sebelumnya oleh Amal (2021) dengan persentase 51% agregat halus dan 49% untuk agregat kasar.

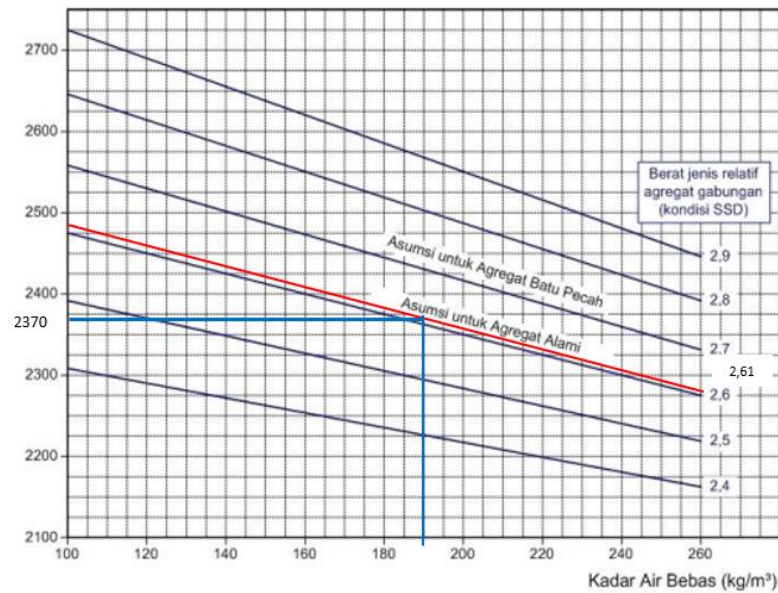
12. Berat jenis agregat (kondisi SSD)

- a. Diperoleh berat jenis agregat halus kondisi SSD dari pengujian berat jenis sebesar 2,66
- b. Diperoleh berat jenis agregat kasar kondisi SSD dari pengujian berat jenis sebesar 2,55
- c. Berat jenis relatif agregat gabungan

$$\begin{aligned} BJ_{\text{gab}} &= (\%Ag \text{ Halus} \times B_{j_{Ag.Halus}}) + (\%Ag.Kasar \times B_{j_{Ag.Kasar}}) \\ &= (51\% \times 2,66) + (49\% \times 2,55) \\ &= 2,61 \end{aligned}$$

13. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- a. Membuat garis baru berwarna merah sesuai dengan nilai berat jenis relative agregat gabungan sebesar 2,61.
- b. Tarik garis vertikal berwarna biru dari nilai kadar air sebesar 190 kg/m^3 hingga memotong garis berwarna merah.
- c. Dari titik perpotongan tersebut, tarik garis berwarna biru secara horizontal ke kiri, sehingga didapatkan nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2370 kg/m^3 .

14. Menentukan berat agregat dalam campuran beton

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat campuran} &= \text{berat isi beton} - (\text{berat semen} + \text{berat air}) \\
 &= 2370 - (527,778 + 190) \\
 &= 1652,22 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

15. Menentukan berat agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat halus} &= \frac{51}{100} \times 1652,22 \\
 &= 842,633 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat kasar} &= \frac{49}{100} \times 1652,22 \\
 &= 809,589 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Proporsi campuran untuk 1m³ beton

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton (*mix design*) diperoleh proporsi campuran untuk 1m³ beton sebagai berikut.

- a. Semen Portland = 527,778 kg/m³
- b. Air = 190 kg/m³
- c. Agregat halus = 842,633 kg/m³
- d. Agregat kasar = 809,589 kg/m³

17. Hasil perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Hasil Perencanaan *Mix Design* Beton 41,5 MPa

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat tekan rencana ($f'c$)	41,5	MPa	
2	Deviasi Standar	-		Diabaikan
3	Nilai tambah	12		
4	Kuat tekan beton rencana yang ditargetkan ($f'cr$)	53,5	MPa	
5	Jenis semen	Tipe I		Holcim PCC (<i>dynamix</i>)
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah		Clereng
7	Jenis agregat halus	Pasir		Progo
8	Faktor air semen (fas)	0,36		Grafik 1 SNI
9	<i>Slump</i>	30-60	mm	
10	Ukuran agregat kasar maksimum	20	mm	
11	Wh (batu tak dipecah)	180		Tabel 3 SNI
12	Wk (batu dipecah)	210		Tabel 3 SNI
13	Kadar air bebas	190	Kg	
14	Jumlah semen	527,778	Kg	
15	Kadar semen minimum	325	Kg	Tabel 4 SNI
16	Kadar semen maksimum	-		
17	Berat jenis agregat halus	2,66		Uji Properties
18	Berat jenis agregat kasar	2,55		Uji Properties
19	Persen agregat halus	51	%	EFNARC (> 50% <i>from total aggregate</i>)

Lanjutan Tabel 5. 15 Hasil Perencanaan *Mix Design* Beton 41,5 MPa

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
20	Persen agregat kasar	49	%	EFNARC (< 50% from total aggregate)
21	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,61		
22	Berat isi beton	2370	Kg/m ³	Grafik 6 SNI
23	Kadar agregat gabungan	1652,22	Kg/m ³	
24	Kadar agregat halus	842,633	Kg/m ³	
25	Kadar agregat kasar	809,589	Kg/m ³	
26	Kadar semen digunakan	527,778	Kg/m ³	
27	Kadar air digunakan	190	Kg/m ³	
28	Kadar <i>viscocrete</i> 3115N digunakan		Kg/m ³	0,9% dari berat semen
29	Kadar abu sekam padi digunakan		Kg/m ³	10% dari berat semen
30	Kadar <i>sikafume</i> digunakan		Kg/m ³	Variasi 0%, 3%, 5%, 8%, 10% dari berat semen

Tabel 5. 16 Proporsi Campuran Untuk Beton SCC 41,5 MPa

Variasi (%)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Viscocrete 3115N (kg)	Abu sekam padi (kg)	Sikafume (kg)
ASP0%-SF0%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	0	0
ASP10%-SF0%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	3,589	0
ASP10%-SF3%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	3,589	1,076
ASP10%-SF5%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	3,589	1,794
ASP10%-SF8%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	3,589	2,871
ASP10%-SF10%	57,311	55,063	35,89	12,92	0,323	3,589	3,589
Jumlah	343,867	330,381	215,37	77,53	1,938	17,948	9,333

5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial* SCC

Berdasarkan dari rencana *mix design* yang telah dibuat, langkah selanjutnya yaitu melakukan pembuatan benda uji *trial* SCC. Pembuatan benda uji *trial* SCC bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari rencana *mix design* tersebut. Sampel benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi

300 mm sebanyak 3 buah. Pengujian kuat tekan terhadap sampel benda uji *trial* SCC dilakukan saat berumur 7 hari. Untuk menghitung nilai kuat tekan beton, maka perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Perhitungan nilai kuat tekan beton *trial* SCC adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton *trial* SCC sampel 1

$$\begin{aligned} f'c_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{492,5 \times 1000}{17836,777} \\ &= 27,835 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c_{\text{konversi}} &= f'c_{\text{aktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\ &= 27,835 \times \frac{1}{0,65} \\ &= 42,824 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel 2 dan sampel 3. Hasil uji kuat tekan beton *trial* SCC dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Trial* SCC

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Angka Konversi	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	150,7	302,5	17836,777	496500	0,65	42,824	42,198
2	151,3	303,2	17979,091	492000	0,65	42,100	
3	151,1	302,9	17931,590	485700	0,65	41,671	

Berdasarkan Tabel 5.17 di atas, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton *trial* SCC sebesar 42,198 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian beton *trial* SCC telah memenuhi mutu rencana yaitu 41,5 MPa. Dengan hasil tersebut penelitian dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

5.5 Hasil Pengujian *Slump Flow*

Pengujian *slump flow* bertujuan untuk mengetahui tingkat *workability* pada campuran beton SCC. Dalam pengujian *slump flow* dibagi menjadi dua macam pengujian yaitu mencari nilai diameter akhir *slump flow* beton SCC dan mencari

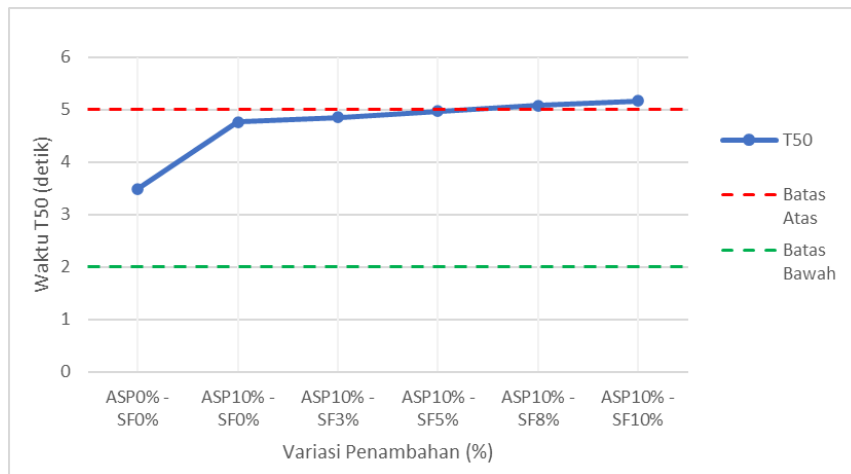
nilai waktu pada saat kerucut *abrams* diangkat hingga beton mencapai diameter 500 mm atau T50. Menurut EFNARC (2005), ditetapkan bahwa syarat *slump flow* beton SCC harus memiliki diameter akhir pada rentang 640-800 mm dan waktu yang diperlukan beton SCC untuk mencapai diameter 500 mm berkisar 2-5 detik. Alat yang digunakan pada pengujian *slump flow* meliputi meja *slump flow*, kerucut *abrams*, meteran, dan *stopwatch*. Kerucut *abrams* diletakkan diatas meja *slump flow* lalu diisi dengan campuran beton segar SCC hingga penuh. Setelah itu kerucut *abrams* diangkat secara perlahan hingga beton segar mengalir memebentuk lingkaran. Catat waktu yang diperlukan saat kerucut *abrams* diangkat hingga campuran beton mencapai diameter 500 mm dan ukur diameter akhir saat beton berhenti mengalir.

Rekapitulasi data hasil pengujian *slump flow* pada beton SCC dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

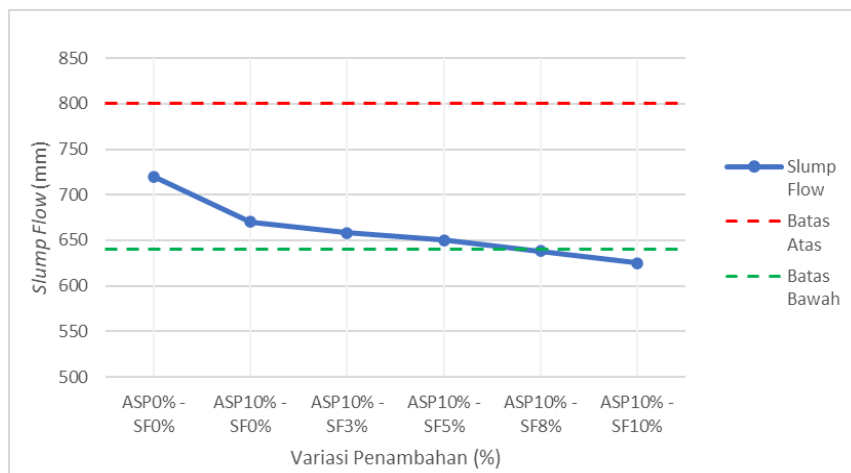
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slump Flow* Beton SCC

Variasi (%)	T ₅₀ (detik)	Keterangan	<i>Slump Flow</i> (mm)	Keterangan
ASP0% - SF0%	3,49	Memenuhi	720	Memenuhi
ASP10% - SF0%	4,76	Memenuhi	670	Memenuhi
ASP10% - SF3%	4,85	Memenuhi	658	Memenuhi
ASP10% - SF5%	4,97	Memenuhi	650	Memenuhi
ASP10% - SF8%	5,08	Tidak Memenuhi	638	Tidak Memenuhi
ASP10% - SF10%	5,16	Tidak Memenuhi	625	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.18 didapatkan hasil pengujian *slump flow* dan T50 pada beton SCC. Hasil dari tabel menunjukkan bahwa pada variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, dan ASP10% - SF5% telah memenuhi persyaratan nilai *slump flow* dan T50 sedangkan pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% tidak memenuhi persyaratan nilai *slump flow* dan T50 yang ditetapkan EFNARC 2005. Grafik hasil pengujian T50 dan *slump flow* beton SCC dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan 5.8 berikut.



Gambar 5. 7 Grafik Pengujian T50 Beton SCC



Gambar 5. 8 Grafik Pengujian *Slump Flow* Beton SCC

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 di atas, menunjukkan bahwa nilai T50 pada beton SCC semakin meningkat seiring dengan penambahan abu sekam padi dan *sika fume*. Nilai T50 terkecil berada pada variasi ASP0% - SF0% beton normal SCC yaitu sebesar 3,49 detik. Akan tetapi setelah melewati variasi ASP10% - SF5%, nilai T50 yang didapatkan melebihi batas yang disyaratkan EFNARC 2005. Nilai T50 yang didapatkan pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 5,08 detik dan 5,16 detik. Begitu juga pada grafik *slump flow* yang semakin menurun seiring dengan penambahan abu sekam padi dan *sika fume*. Nilai *slump flow* terbesar berada pada variasi ASP0% - SF0% beton normal SCC yaitu sebesar 720 mm. Namun setelah melewati variasi ASP10% - SF5%, nilai *slump flow* yang didapatkan tidak memenuhi ketentuan EFNARC

2005. Nilai *slump flow* yang didapatkan pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 638 mm dan 625 mm.

Secara umum setiap penambahan abu sekam padi dan *sika fume* dalam campuran beton SCC dapat memperlambat campuran beton SCC untuk mencapai diameter 500 mm (T50) dan akan menurunkan nilai *slump flow*. Hal ini sesuai dengan pernyataan Assalam dkk. (2019) bahwa penggunaan abu sekam padi dengan kadar 10% membuat campuran beton menjadi lebih kental sehingga mengakibatkan penurunan nilai *slump* pada beton segar. Penurunan nilai *slump* terjadi akibat terserapnya sebagian air oleh abu sekam padi karena memiliki sifat hidroskopis (menyerap air). Penambahan *sika fume* dalam campuran beton juga dapat meningkatkan kekentalan beton. Berdasarkan hasil penelitian Nugraha (2017), ukuran partikel yang sangat kecil dari *sika fume* menyebabkan peningkatan luas permukaan pada campuran beton, sehingga berpengaruh terhadap distribusi air dalam campuran dan secara tidak langsung mempengaruhi sifat-sifat aliran beton. Selain itu waktu pencampuran beton pada *mixer* yang terlalu lama mengakibatkan suhu pada campuran beton semakin meningkat dan beton menjadi homogen akan tetapi sulit dikerjakan (*workability*).

5.6 Hasil Pengujian V-Funnel

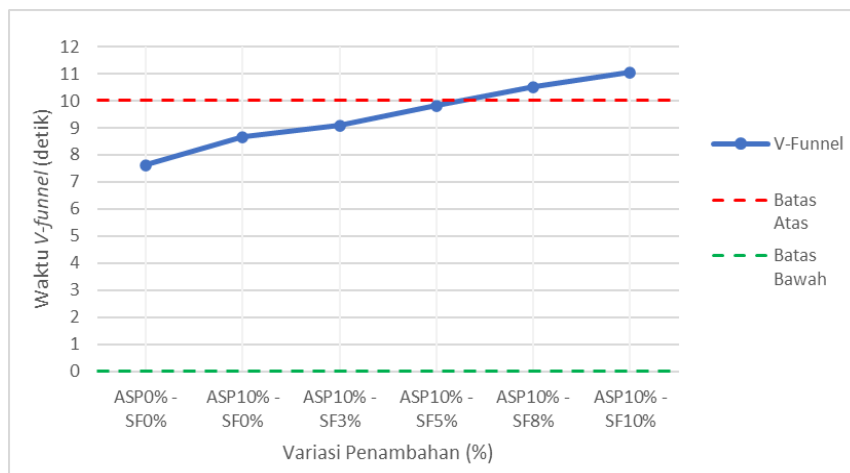
Pengujian *v-funnel* dilakukan dengan cara memasukkan campuran beton segar SCC ke dalam alat *v-funnel* hingga penuh kemudian dibuka penutup bagian bawah agar beton dapat mengalir keluar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *segregation resistance* sekaligus tingkat *flowability* berdasarkan waktu yang diperlukan untuk mengosongkan campuran beton SCC pada alat *v-funnel*. Berdasarkan EFNARC (2005) waktu yang disyaratkan untuk pengujian *v-funnel* adalah 0-10 detik.

Rekapitulasi data hasil pengujian *v-funnel* pada beton SCC dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian V-Funnel Beton SCC

Variasi (%)	V-Funnel (detik)	Keterangan
ASP0% - SF0%	7,62	Memenuhi
ASP10% - SF0%	8,67	Memenuhi
ASP10% - SF3%	9,09	Memenuhi
ASP10% - SF5%	9,82	Memenuhi
ASP10% - SF8%	10,51	Tidak Memenuhi
ASP10% - SF10%	11,05	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.19 di atas, didapatkan nilai pengujian *v-funnel* pada beton SCC yang tidak memenuhi persyaratan EFNARC 2005 yaitu pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10%. Hal ini disebabkan karena waktu yang didapatkan untuk mengosongkan alat *v-funnel* lebih dari 10 detik. Sedangkan pada variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, dan ASP10% - SF5% telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh EFNARC 2005. Grafik hasil pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

**Gambar 5. 9 Grafik Pengujian V-Funnel Beton SCC**

Berdasarkan Gambar 5.9 di atas, menunjukkan bahwa pada variasi ASP0% - SF0% beton normal SCC didapatkan nilai *v-funnel* paling kecil yaitu sebesar 7,62 detik. Terjadi peningkatan nilai *v-funnel* yang signifikan pada variasi ASP0% - SF0% ke variasi ASP10% - SF0% yaitu sebesar 1,05 detik. Hal tersebut dikarenakan abu sekam padi menyerap jumlah air yang tinggi dalam campuran beton sehingga membuat beton lebih kental dan sulit mengalir. Peningkatan nilai *v-*

funnel terus terjadi pada variasi berikutnya seiring dengan penambahan *sika fume*. Akan tetapi setelah melewati variasi ASP10% - SF5%, nilai *v-funnel* yang didapatkan melebihi batas yang disyaratkan sehingga tidak memenuhi ketentuan EFNARC 2005. Nilai *v-funnel* yang didapatkan pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 10,51 detik dan 11,05 detik.

Secara umum, penambahan kadar abu sekam padi dan *sika fume* dalam campuran beton SCC berpengaruh terhadap meningkatnya viskositas (kekentalan) yang menyebabkan beton SCC sulit mengalir. Akan tetapi tingginya viskositas dalam suatu campuran beton dapat meningkatkan ketahanan terhadap segregasi. Hal ini sesuai dengan yang diutarakan Rahman (2018) bahwa semakin cepat waktu mengalir campuran beton, tingkat ketahanan terhadap segregasi semakin menurun.

5.7 Hasil Pengujian *L-Box*

Pengujian *l-box* bertujuan untuk mengetahui tingkat *passing ability* suatu campuran beton SCC. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan campuran beton segar SCC ke dalam alat yang berbentuk seperti huruf L. Selanjutnya dibuka penutup bagian bawah agar beton dapat mengalir melewati celah-celah tulangan yang terpasang pada alat *l-box*. Setelah beton berhenti mengalir, kemudian ukur ketinggian beton pada kedua sisi alat dan didapatkan nilai *passing ability ratio* yang merupakan hasil dari perbandingan beda tinggi antara kedua sisi tersebut (H_2/H_1). Berdasarkan EFNARC (2005) nilai H_2/H_1 yang disyaratkan untuk pengujian *l-box* yaitu sebesar 0,8-1.

Rekapitulasi data hasil pengujian *l-box* pada beton SCC dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

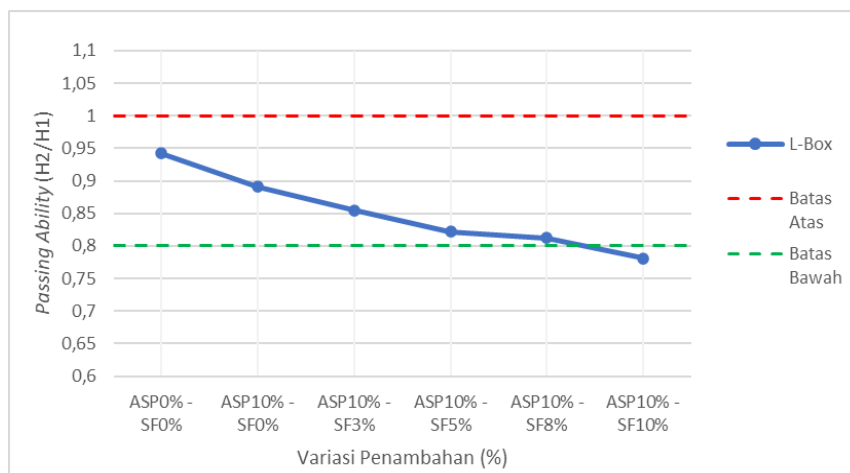
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *L-Box* Beton SCC

Variasi (%)	H1 (mm)	H2 (mm)	Passing Ability (H2/H1)	Keterangan
ASP0% - SF0%	140	135	0,942	Memenuhi
ASP10% - SF0%	148	132	0,891	Memenuhi
ASP10% - SF3%	152	130	0,855	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *L-Box* Beton SCC

Variasi (%)	H1 (mm)	H2 (mm)	Passing Ability (H2/H1)	Keterangan
ASP10% - SF5%	158	130	0,822	Memenuhi
ASP10% - SF8%	155	126	0,812	Memenuhi
ASP10% - SF10%	160	125	0,781	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.20 di atas, didapatkan hasil pengujian *l-box* pada beton SCC yang tidak memenuhi syarat yaitu pada variasi ASP10% - SF10%. Sedangkan pada variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, dan ASP10% - SF8% telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan EFNARC 2005 yaitu nilai H2/H1 sebesar 0,8-1. Grafik hasil pengujian *l-box* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5. 10 Grafik Pengujian *L-Box* Beton SCC

Berdasarkan Gambar 5.10 diatas, menunjukkan bahwa nilai *passing ability* pada campuran beton SCC semakin menurun seiring penambahan abu sekam padi dan *sika fume*. Nilai *passing ability* terbesar berada pada variasi ASP0% - SF0% beton normal SCC dengan nilai sebesar 0,942. Akan tetapi terdapat satu variasi yang tidak memenuhi syarat *passing ability* menurut EFNARC (2005), yaitu pada variasi ASP10% - SF10% dengan nilai *passing ability* sebesar 0,781. Hal tersebut terjadi karena penambahan abu sekam padi dan *sika fume* dapat mempengaruhi jumlah air dalam semen. Jika penambahan abu sekam padi dan *sika fume* terlalu

sedikit, beton cenderung menjadi lebih cair. Sebaliknya, penambahan yang berlebihan dapat membuat campuran beton menjadi kental dan sulit mengalir melewati celah tulangan pada alat *l*-box.

Berdasarkan hasil penelitian Hermansah dan Sihotang (2019), salah satu penyebab ketidaksesuaian nilai *passing ability* dengan standar beton SCC adalah waktu pengerasan yang singkat. Penambahan *viscocrete* pada beton SCC tidak hanya dapat meningkatkan *workability*, tetapi juga mempercepat pengerasan beton. Oleh karena itu penting untuk menyeragamkan waktu yang diperlukan untuk mencapai homogenitas campuran dan durasi penggunaan *viscocrete* dalam campuran agar dapat mencapai hasil yang optimal.

5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Pengujian kuat tekan beton SCC dilakukan pada saat benda uji sudah berumur 28 hari. Hal ini bertujuan agar beton memperoleh kekuatan maksimal saat diberi beban oleh alat uji tekan. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 30 buah dengan 6 variasi berbeda. Sebelum pengujian dilakukan, permukaan benda uji diberi *capping* terlebih dahulu dengan tujuan agar permukaan beton menjadi rata sehingga pada saat pengujian berlangsung, beban yang diterima oleh beton dapat terdistribusi dengan baik. Perhitungan kuat tekan beton SCC umur 28 hari adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 1

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,2^2 \\ &= 17955,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f^c_{\text{ aktual}} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{724700}{17955,333} \\ &= 40,363 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 2

$$\text{Luas Penampang (A)} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$\begin{aligned}
 f_c \text{ aktual} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,6^2 \\
 &= 17813,113 \text{ mm}^2 \\
 &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{582200}{17813,113} \\
 &= 32,686 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel 3, sampel 4, dan sampel 5 dan juga pada variasi-variasi berikutnya. Diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat tekan beton SCC yang dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

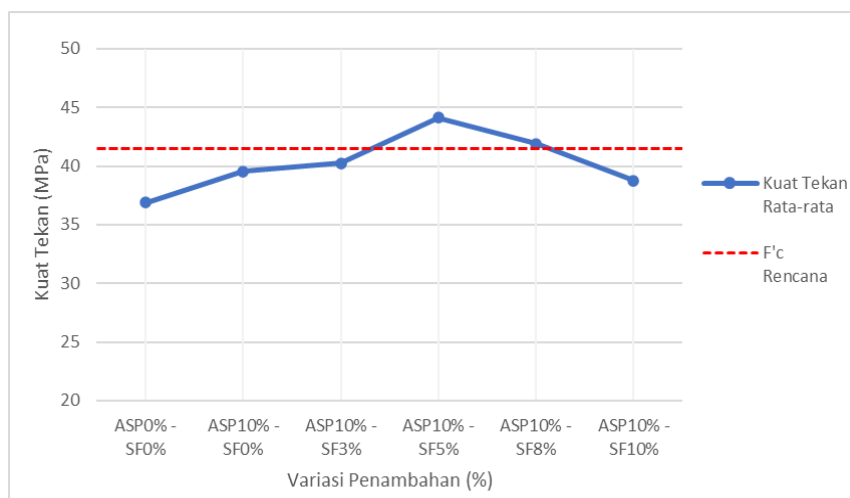
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)	
ASP 0% - SF 0%	S1	151,2	301,6	17955,333	12,60	724700	40,363	36,893
	S2	150,6	303,3	17813,113	11,75	582200	32,686	
	S3	151,3	304,0	17979,091	12,53	712700	39,638	
	S4	150,7	301,7	17836,777	11,82	620500	34,785	
	S5	150,5	302,2	17789,464	12,05	658100	36,993	
ASP 10% - SF 0%	S1	151,2	303,6	17955,332	11,96	691200	38,496	39,543
	S2	150,4	301,5	17765,832	12,46	733500	41,287	
	S3	150,7	302,4	17836,777	12,68	716000	40,142	
	S4	151,1	301,8	17931,590	11,92	675900	37,693	
	S5	151,8	303,2	18098,118	12,54	725700	40,098	
ASP 10% - SF 3%	S1	151,4	302,5	18002,865	12,28	731900	40,655	40,260
	S2	151,0	303,2	17907,863	12,22	750800	41,926	
	S3	150,3	302,9	17742,215	12,37	769300	43,360	
	S4	151,5	303,5	18026,655	11,88	683200	37,899	
	S5	151,0	302,4	17907,863	11,73	670800	37,458	

Lanjutan Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 10% - SF 5%	S1	150,3	302,4	17742,215	12,33	817900	46,096
	S2	150,7	303,6	17836,777	12,46	797500	44,713
	S3	151,4	303,2	18002,865	12,30	786600	43,691
	S4	151,8	301,8	18098,118	12,34	819800	45,296
	S5	151,2	302,6	17955,332	11,98	734100	40,883
ASP 10% - SF 8%	S1	151,7	303,2	18074,281	12,19	769100	42,550
	S2	151,1	303,5	17,931,590	12,07	728000	40,598
	S3	150,8	302,6	17860,456	12,26	785100	43,959
	S4	151,0	301,5	17907,863	12,16	705700	39,407
	S5	150,3	302,2	17742,215	12,30	761600	42,924
ASP 10% - SF 10%	S1	151,5	302,6	18026,655	12,13	718400	39,853
	S2	150,7	303,2	17836,777	12,24	670300	37,580
	S3	151,2	301,7	17955,332	12,30	739900	41,208
	S4	150,9	303,5	17884,152	12,16	655000	36,627
	S5	151,0	301,2	17907,863	12,21	692100	38,647

Berdasarkan Tabel 5.21 di atas, didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton SCC pada umur 28 hari variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, ASP10% - SF8%, dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 36,893 MPa; 39,543 MPa; 40,260 MPa; 44,136 MPa; 41,888 MPa; 38,783 MPa. Pada beton SCC normal yaitu variasi ASP0% - SF0%, nilai kuat tekan yang didapatkan masih di bawah mutu rencana. Hal tersebut disebabkan karena *mix design* yang digunakan untuk membuat beton SCC menggunakan pendekatan *mix design* SNI 03-2834-2000, karena di Indonesia belum terdapat peraturan mengenai *mix design* untuk beton SCC. Selain itu pada *trial* beton SCC yang dilakukan sebelumnya, nilai kuat tekan yang didapatkan pada umur 7 hari telah memenuhi mutu rencana setelah dikonversi ke 28 hari. Akan tetapi angka konversi yang digunakan merupakan angka konversi beton normal menurut PBI 1971, sehingga terdapat perbedaan nilai kuat tekan saat *trial* dan saat diuji umur 28 hari. Grafik hasil pengujian kuat tekan beton SCC dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Berdasarkan Gambar 5.11 didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton SCC terendah pada variasi ASP 0% - SF0% sebesar 36,893 MPa. Pada variasi ASP10% - SF0%, kuat tekan rata-rata beton SCC meningkat sebesar 7,18% dari beton normal SCC yaitu sebesar 39,543 MPa. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Farhan (2023) bahwasannya penambahan abu sekam padi sebesar 10% dapat meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan terus terjadi pada variasi berikutnya seiring dengan penambahan *sika fume*. Pada variasi ASP10% - SF5% didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton SCC tertinggi sebesar 44,136 MPa. Nilai tersebut meningkat sebesar 19,63% dari beton normal SCC. Hal ini dikarenakan pada penambahan *sika fume* 3% dan 5%, air dalam campuran beton masih dapat mengalami proses hidrasi dengan semen sehingga partikel *sika fume* dapat bereaksi dengan hasil hidrasi tersebut dan menciptakan daya lekat antar partikel yang lebih (Amal, 2021). Pada variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% kuat tekan beton mengalami penurunan, akan tetapi penurunan yang terjadi pada variasi ASP10% - SF8% masih diatas mutu rencana yaitu sebesar 41,888 MPa.

Kombinasi abu sekam padi dan *sika fume* dalam campuran beton SCC berpengaruh terhadap meningkatnya kuat tekan beton. Abu sekam padi berperan sebagai *filler* untuk mengisi pori-pori beton sedangkan *sika fume* mampu meningkatkan kekuatan dengan reaksi pozzolaniknya. Akan tetapi, penggunaan bahan tambah yang terlalu banyak dapat meningkatkan luas permukaan pada

campuran yang berpengaruh terhadap distribusi air dalam campuran sehingga mengakibatkan menurunnya kuat tekan. Selain itu penggunaan bahan tambah yang berlebih juga dapat mengubah konsistensi dan *workability* beton, akibatnya beton terlalu kental dan sulit untuk dipadatkan (Trimurtiningrum, 2018).

5.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC

Pengujian kuat tarik belah beton SCC dilaksanakan pada saat benda uji telah berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 18 buah dengan 6 variasi berbeda. Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan alat uji desak tetapi posisi benda uji tertidur. Selanjutnya benda uji diberi beban hingga terbelah atau telah mencapai kuat tarik belah maksimumnya. Perhitungan kuat tarik belah beton SCC dilakukan menggunakan persamaan 3.10. Berikut merupakan perhitungan kuat tarik belah beton SCC umur 28 hari.

1. Kuat tarik belah beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 1

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{2P}{\pi L D} \\ &= \frac{2 \times 273000}{\pi \times 301,6 \times 151,5} \\ &= 3,804 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tarik belah beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 2

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{2P}{\pi L D} \\ &= \frac{2 \times 260000}{\pi \times 303,3 \times 151,0} \\ &= 3,614 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tarik belah beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 3

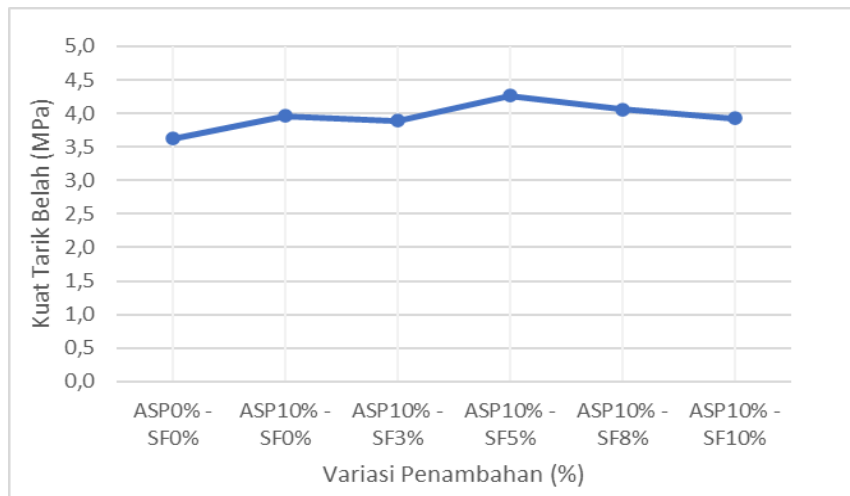
$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{2P}{\pi L D} \\ &= \frac{2 \times 250000}{\pi \times 304,0 \times 151,4} \\ &= 3,458 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada variasi-variasi berikutnya. Diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat tarik belah beton SCC yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC

Variasi (%)		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 0% - SF 0%	S1	151,5	301,6	143546,908	12,15	273000	3,804	3,625
	S2	151,0	303,3	143879,602	12,11	260000	3,614	
	S3	151,4	304,0	144593,686	11,77	250000	3,458	
ASP 10% - SF 0%	S1	150,8	302,5	143310,032	11,88	268000	3,740	3,962
	S2	151,3	301,7	143404,939	12,21	290000	4,044	
	S3	151,9	303,4	144784,884	12,37	297000	4,103	
ASP 10% - SF 3%	S1	150,7	303,8	143830,468	12,21	290000	4,033	3,893
	S2	151,1	302,5	143595,131	11,85	265000	3,691	
	S3	150,3	304,0	143543,138	12,16	284000	3,957	
ASP 10% - SF 5%	S1	151,5	303,4	144403,620	12,26	287000	3,975	4,265
	S2	150,8	302,2	143167,906	12,25	310000	4,331	
	S3	151,8	301,7	143878,848	12,34	323000	4,490	
ASP 10% - SF 8%	S1	151,6	301,4	143546,405	12,26	300000	4,180	4,057
	S2	150,9	302,8	143547,285	12,20	281000	3,915	
	S3	151,3	302,5	143785,198	12,25	293000	4,076	
ASP 10% - SF 10%	S1	150,5	303,4	143450,461	12,12	273000	3,806	3,926
	S2	151,3	302,5	143785,198	12,21	288000	4,006	
	S3	151,6	301,7	143689,285	12,15	285000	3,967	

Berdasarkan Tabel 5.22 di atas, didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata pada beton SCC umur 28 hari variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, ASP10% - SF8%, dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 3,625 MPa; 3,962 MPa; 3,893 MPa; 4,265 MPa; 4,057 MPa; 3,926 MPa. Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton SCC dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 12 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC

Berdasarkan Gambar 5.12 diperoleh nilai pengujian kuat tarik belah rata-rata tertinggi pada beton SCC variasi ASP10% - SF5% sebesar 4,265 MPa. Nilai tersebut meningkat sebesar 17,65% dari beton normal SCC. Sedangkan nilai rata-rata kuat tarik belah terendah berada pada beton normal SCC variasi ASP0% - SF0% sebesar 3,625 MPa.

Penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* sebagai bahan tambah dalam campuran beton SCC berpengaruh terhadap meningkatnya kuat tarik belah beton. Kombinasi dua bahan tambah tersebut dapat meningkatkan daya lekat antar partikel dan mengurangi kecenderungan retak. Hal ini disebabkan karena *sika fume* dapat bereaksi dengan hasil hidrasi air dan semen yang mengakibatkan daya lekat antar partikel semakin bertambah. Selain itu penambahan abu sekam padi dalam campuran beton juga dapat membantu mengurangi pori dalam beton sehingga beton menjadi lebih padat. Berikut ini merupakan perhitungan korelasi antara kuat tarik belah dengan kuat tekan beton SCC.

1. Pada variasi ASP 0% - SF 0%

$$\text{Kuat tarik belah rata-rata } (f_{ct}) = 3,625 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'c) = 36,893 \text{ MPa}$$

Sehingga persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan didapatkan dari

$$\frac{f_{ct}}{f'c} \times 100\%$$

$$\text{Maka, } \frac{f_{ct}}{f'c} \times 100\% = \frac{3,625}{36,893} \times 100\%$$

$$= 9,826\%$$

Didapatkan persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan sebesar 9,826%.

Korelasi didapatkan dari $\frac{f_{ct}}{\sqrt{f_c}}$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \sqrt{f_c} &= \sqrt{36,893} \text{ MPa} \\ &= 6,0739 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } \frac{f_{ct}}{\sqrt{f_c}} &= \frac{3,625}{6,0739} \\ &= 0,596 \end{aligned}$$

2. Pada variasi ASP 10% - SF 0%

$$\text{Kuat tarik belah rata-rata (} f_{ct} \text{)} = 3,962 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan rata-rata (} f_c \text{)} = 39,543 \text{ MPa}$$

Sehingga persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan didapatkan dari

$$\frac{f_{ct}}{f_c} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \frac{f_{ct}}{f_c} \times 100\% &= \frac{3,962}{39,543} \times 100\% \\ &= 10,021\% \end{aligned}$$

Didapatkan persentase kuat tarik belah terhadap kuat tekan sebesar 10,021%.

Korelasi didapatkan dari $\frac{f_{ct}}{\sqrt{f_c}}$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \sqrt{f_c} &= \sqrt{39,543} \text{ MPa} \\ &= 6,2883 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } \frac{f_{ct}}{\sqrt{f_c}} &= \frac{3,962}{6,2883} \\ &= 0,630 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada variasi-variasi berikutnya. Sedangkan hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 23 Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton SCC

Variasi	Kuat tarik rata-rata (f_{ct}) MPa	Kuat tekan rata-rata (f'_c) MPa	Persentase kuat tarik (%)	$\sqrt{f'_c}$	$f_{ct}/\sqrt{f'_c}$
ASP 0% - SF 0%	3,625	36,893	9,826	6,0739	0,596
ASP 10% - SF 0%	3,962	39,543	10,021	6,2883	0,630
ASP 10% - SF 3%	3,893	40,260	9,671	6,3450	0,613
ASP 10% - SF 5%	4,265	44,136	9,664	6,6434	0,642
ASP 10% - SF 8%	4,057	41,888	9,685	6,4720	0,626
ASP 10% - SF 10%	3,926	38,783	10,124	6,2275	0,630

Dari Tabel 5.23 didapatkan persentase terkecil nilai kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton SCC pada variasi penambahan 10% abu sekam padi dan 5% sikafume sebesar 9,664%. Nilai tersebut masuk dalam kisaran nilai dari Yunanto (2014) yang menyebutkan bahwa suatu perkiraan kasar nilai kuat tarik belah beton berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Selain data diatas, didapatkan juga korelasi kuat tarik belah dengan kuat tekan dari tiap variasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24 Korelasi Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tekan Beton SCC

Variasi	Korelasi ke kuat tarik belah
ASP 0% - SF 0%	$f_{ct} = 0,596\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 0%	$f_{ct} = 0,630\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 3%	$f_{ct} = 0,613\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 5%	$f_{ct} = 0,642\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 8%	$f_{ct} = 0,626\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 10%	$f_{ct} = 0,630\sqrt{f'_c}$

Dari Tabel 5.24 didapatkan nilai f_{ct} pada tiap variasi beton SCC berkisar antara 0,596 sampai 0,642. Menurut SNI 2847-2019 bahwa kekuatan tarik belah beton setara dengan $0,56\sqrt{f'_c}$. Didapatkan selisih antara ketentuan dari SNI dengan hasil penelitian pada variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, ASP10% - SF8%, dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 0,036; 0,07; 0,053; 0,082; 0,066; 0,07.

5.10 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton SCC

Pengujian kuat lentur beton SCC dilaksanakan pada saat benda uji sudah berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk balok dengan lebar 100 mm, tinggi 100 mm, dan panjang 400 mm sebanyak 18 buah dengan 6 variasi berbeda. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan metode pembebanan satu titik dan panjang bentang antar kedua tumpuan sebesar 300 mm. Pengujian dilakukan hingga benda uji hancur atau telah mencapai beban maksimumnya. Perhitungan kuat lentur beton SCC dilakukan menggunakan persamaan 3.11. Berikut merupakan perhitungan kuat tarik belah beton SCC umur 28 hari.

1. Kuat lentur beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 1

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{3 PL}{2 bd^2} \\ &= \frac{3 \times (1105 \times 9,81) \times 300}{2 \times 101,5 \times 101,6^2} \\ &= 4,656 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat lentur beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 2

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{3 PL}{2 bd^2} \\ &= \frac{3 \times (1210 \times 9,81) \times 300}{2 \times 100,8 \times 101,5^2} \\ &= 5,144 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat lentur beton SCC variasi ASP0% - SF0% sampel 3

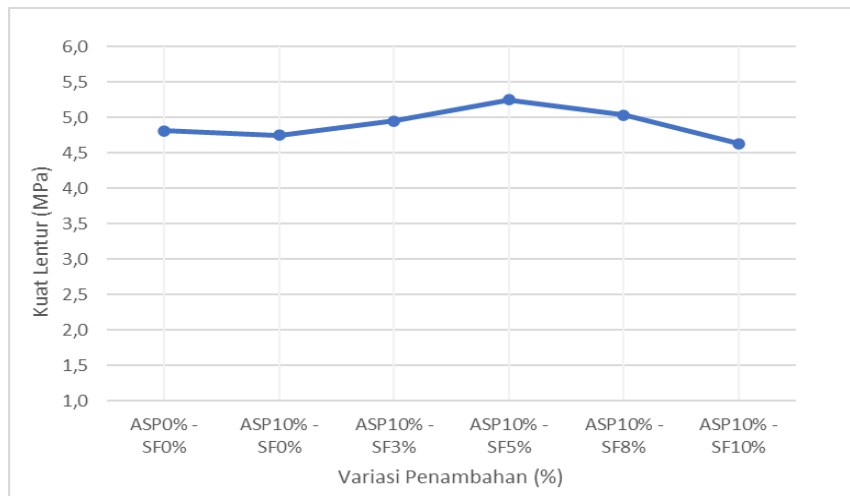
$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{3 PL}{2 bd^2} \\ &= \frac{3 \times (1090 \times 9,81) \times 300}{2 \times 101,2 \times 101,3^2} \\ &= 4,633 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada variasi-variasi berikutnya. Diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat lentur beton SCC yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton SCC

Variasi (%)		Lebar Patah (mm)	Tinggi Patah (mm)	Jarak rata-rata patah (mm)	Berat Beton (kg)	Beban (kgf)	Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 0% - SF 0%	S1	101,5	101,6	148,4	9,07	1105	4,656	4,811
	S2	100,8	101,5	143,2	9,13	1210	5,144	
	S3	101,2	101,3	146,8	8,97	1090	4,633	
ASP 10% - SF 0%	S1	100,8	102,3	146,5	9,17	1160	4,854	4,750
	S2	102,4	102,7	142,1	9,11	1145	4,680	
	S3	101,2	101,8	145,6	9,06	1120	4,714	
ASP 10% - SF 3%	S1	101,4	101,3	145,8	9,21	1210	5,133	4,951
	S2	100,9	102,2	143,5	9,23	1180	4,943	
	S3	102,2	101,3	146,2	9,15	1135	4,778	
ASP 10% - SF 5%	S1	101,7	102,3	146,5	9,31	1300	5,392	5,246
	S2	101,2	102,0	142,8	9,29	1240	5,199	
	S3	102,4	101,3	145,2	9,26	1225	5,146	
ASP 10% - SF 8%	S1	100,8	101,5	147,5	9,13	1150	4,889	5,031
	S2	101,6	102,4	144,2	9,19	1190	4,931	
	S3	102,2	101,8	147,0	9,24	1265	5,273	
ASP 10% - SF 10%	S1	101,3	102,6	146,4	9,11	1100	4,554	4,627
	S2	101,8	102,2	145,8	9,20	1145	4,754	
	S3	100,6	101,8	143,2	9,16	1080	4,573	

Berdasarkan Tabel 5.25 di atas, didapatkan nilai kuat lentur rata-rata pada beton SCC umur 28 hari variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, ASP10% - SF8%, dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 4,811 MPa; 4,750 MPa; 4,951 MPa; 5,246 MPa; 5,031 MPa; 4,627 MPa. Pada variasi ASP0% - SF0%, nilai kuat tarik belah yang didapatkan pada sampel 1 dan 3 berkisar 4,6 MPa (dengan selisih yang relatif kecil). Akan tetapi nilai kuat tarik belah yang didapatkan pada sampel 2 sebesar 5,144 MPa. Terdapat selisih sebesar 10,87% terhadap sampel 1 dan 3 sehingga dimungkinkan ada indikasi *outlayer*. Grafik hasil pengujian kuat lentur beton SCC dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 13 Grafik Pengujian Kuat Lentur Beton SCC

Berdasarkan Gambar 5.13 diperoleh nilai pengujian kuat lentur rata-rata tertinggi pada beton SCC variasi ASP10% - SF5% sebesar 5,246 MPa. Nilai tersebut meningkat sebesar 9,04% dari beton normal SCC. Sedangkan nilai rata-rata terendah kuat lentur beton SCC berada pada variasi ASP10% - SF10% sebesar 4,627 MPa. Terdapat penurunan kuat lentur rata-rata pada beton SCC variasi ASP10% - SF0% terhadap beton SCC normal sebesar 1,26%. Hal ini disebabkan karena terdapat satu sampel pada variasi beton normal yang memiliki nilai kuat lentur tidak seragam. Secara umum, penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* sebagai bahan tambah dalam campuran beton SCC dapat meningkatkan kelekatan antar partikel sehingga membuat kekuatan lentur beton semakin baik. Berikut ini merupakan perhitungan korelasi antara kuat lentur dengan kuat tekan beton SCC.

1. Pada variasi ASP 0% - SF 0%

$$\text{Kuat lentur rata-rata } (f_u) = 4,811 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f'_c) = 36,893 \text{ MPa}$$

Sehingga persentase kuat lentur terhadap kuat tekan didapatkan dari

$$\frac{f_u}{f'_c} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \frac{f_u}{f'_c} \times 100\% &= \frac{4,811}{36,893} \times 100\% \\ &= 13,040\% \end{aligned}$$

Didapatkan persentase kuat lentur terhadap kuat tekan sebesar 13,040%.

Korelasi didapatkan dari $\frac{f_u}{\sqrt{f_c}}$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \sqrt{f_c} &= \sqrt{36,893} \text{ MPa} \\ &= 6,0739 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } \frac{f_u}{\sqrt{f_c}} &= \frac{4,811}{6,0739} \\ &= 0,792 \end{aligned}$$

2. Pada variasi ASP 10% - SF 0%

$$\text{Kuat lentur rata-rata } (f_u) = 4,750 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat tekan rata-rata } (f_c) = 39,543 \text{ MPa}$$

Sehingga persentase kuat lentur terhadap kuat tekan didapatkan dari

$$\frac{f_u}{f_c} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \frac{f_u}{f_c} \times 100\% &= \frac{4,750}{39,543} \times 100\% \\ &= 12,011\% \end{aligned}$$

Didapatkan persentase kuat lentur terhadap kuat tekan sebesar 12,011%.

Korelasi didapatkan dari $\frac{f_u}{\sqrt{f_c}}$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \sqrt{f_c} &= \sqrt{39,543} \text{ MPa} \\ &= 6,2883 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } \frac{f_u}{\sqrt{f_c}} &= \frac{4,750}{6,2883} \\ &= 0,755 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada variasi-variasi berikutnya. Sedangkan hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5. 26 Perbandingan Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton SCC

Variasi	Kuat lentur rata-rata (f_u) MPa	Kuat tekan rata-rata (f_c) MPa	Persentase kuat lentur (%)	$\sqrt{f_c}$	$f_u/\sqrt{f_c}$
ASP 0% - SF 0%	4,811	36,893	13,040	6,0739	0,792
ASP 10% - SF 0%	4,750	39,543	12,011	6,2883	0,755
ASP 10% - SF 3%	4,951	40,260	12,298	6,3450	0,780

Lanjutan Tabel 5. 26 Perbandingan Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton SCC

Variasi	Kuat lentur rata-rata (f_u) MPa	Kuat tekan rata-rata (f'_c) MPa	Persentase kuat lentur (%)	$\sqrt{f'_c}$	$f_u/\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 5%	5,246	44,136	11,886	6,6434	0,789
ASP 10% - SF 8%	5,031	41,888	12,010	6,4720	0,777
ASP 10% - SF 10%	4,627	38,783	11,930	6,2275	0,743

Dari Tabel 5.26 didapatkan persentase terendah kuat lentur terhadap kuat tekan beton pada variasi ASP10% - SF5% sebesar 11,886%. Sedangkan korelasi kuat lentur beton SCC dengan kuat tekan beton SCC dari tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5. 27 Korelasi Kuat Lentur Dengan Kuat Tekan Beton SCC

Variasi	Korelasi ke kuat lentur
ASP 0% - SF 0%	$f_u = 0,792\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 0%	$f_u = 0,755\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 3%	$f_u = 0,780\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 5%	$f_u = 0,789\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 8%	$f_u = 0,777\sqrt{f'_c}$
ASP 10% - SF 10%	$f_u = 0,743\sqrt{f'_c}$

Dari Tabel 5.27 didapatkan nilai f_u pada tiap variasi beton SCC berkisar antara 0,743 sampai 0,792. Menurut SNI 2847-2019 bahwa kekuatan lentur beton setara dengan $0,62\sqrt{f'_c}$. Didapatkan selisih antara ketentuan dari SNI dengan hasil penelitian pada variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, ASP10% - SF5%, ASP10% - SF8%, dan ASP10% - SF10% secara berturut-turut sebesar 0,172; 0,135; 0,16; 0,169; 0,157; 0,123.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* sebagai bahan tambah beton SCC sangat berpengaruh dalam meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Pada pengujian kuat tekan dengan mutu rencana 41,5 MPa, penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* dapat meningkatkan kuat tekan hingga 19,63% dari beton normal. Sedangkan pada pengujian kuat tarik belah meningkat hingga 17,65% dari beton normal dan pada pengujian kuat lentur meningkat hingga 9,04% dari beton normal.
2. Pada pengujian *slump flow T50*, *v-funnel*, dan *l-box* beton SCC, variasi ASP10% - SF8% dan ASP10% - SF10% tidak dapat dikategorikan sebagai beton SCC karena tidak memenuhi ketentuan EFNARC 2005. Sedangkan variasi ASP0% - SF0%, ASP10% - SF0%, ASP10% - SF3%, dan ASP10% - SF5% dapat dikategorikan sebagai beton SCC karena memenuhi ketentuan EFNARC 2005.
3. Nilai kuat tekan optimum beton SCC berada pada variasi ASP10% - SF5% sebesar 44,136 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti ingin memberikan saran yang dapat berguna bagi penelitian mendatang. Saran yang dapat disampaikan oleh peneliti adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan abu sekam padi dan *sika fume* dengan mutu rencana lain dan pengujian lain seperti modulus elastisitas dan absorpsi.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan bahan tambah yang berbeda tetapi memiliki fungsi yang sama dengan abu sekam padi.
3. Untuk penelitian selanjutnya agar diperhatikan lagi waktu pencampuran dalam *mixer*, sebab jika waktu pencampurannya terlalu lama dapat meningkatkan viskositas beton sehingga membuat beton sulit mengalir.

DAFTAR PUSTAKA





- Amal, I. 2021. Pengaruh Penambahan Persentase Sikafume dan Superplasticizer (Viscocrete 3115-N) Pada Beton SCC Agar Memenuhi Syarat Mutu K-500. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Amiruddin, A., Ibrahim, I., Sulianti, I. 2014. Pengaruh Perubahan Ukuran Maksimum Agregat Kasar Terhadap Jumlah Semen Untuk Pembuatan Beton SCC dengan Bahan Tambah SP430 dan RP260. *PILAR*, 10(2).
- Assalam, M.F., Hardian M.F., Amalia A. 2019. Karakteristik Beton SCC Dengan Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi. *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 1, No. 1, pp. 15-21).
- Concrete, S C. 2005. *The European guidelines for self-compacting concrete. BIBM*, 22, p.563.
- Direktorat Penyeledikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.
- Farhan, M., Nurlirullah, M., Bahar, F. 2023. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik*, 21(1), pp.58-67.
- Handayani, A. 2020. Siklus Produksi (*Cycle Time*) Beton Pracetak dengan Metode Beton Self Compacting Concrete (SCC). *None*, 9(1), pp.18-24.
- Herbudiman, B. dan Siregar, S.E. 2013. Kajian Interval Rasio Air-Powder Beton Self Compacting Concrete Terkait Kinerja Kekuatan dan Flow. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS 7)*,(hal. M-3). Surakarta: Universitas Sebelas Maret (UNS).
- Hermansah, F.Y. dan Sihotang, A. 2019. Studi Mengenai Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Campuran Beton Memadat Sendiri (SCC). 5(1). 62-73.

- Ikbal. 2016. Pengaruh Penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* Terhadap Kuat Tekan Optimum *Self Compacting Concrete*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Lubis, L.S.K. 2004. Pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai material pengganti semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton (*Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara*).
- Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. 2022. Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia Nomor 9 tahun 2022 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor 7 tahun 2021 tentang Perubahan Daftar Proyek Strategis Nasional.
- Mulyono, T. 2004. Teknologi beton. *Penerbit Andi, Yogyakarta*.
- Nugraha, B. 2017. Pengaruh Penambahan Sika Fume Terhadap Kuat Tekan Self Compacting Concrete yang Menggunakan Superplasticizer Viscocrete 3115N. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Okamura, H. dan Ouchi, M. 2003. Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), pp.5-15.
- PT. Sika Indonesia. 2018. Concrete Additive Based On Silica Fume Technlogy. *Product Data Sheet*.
- Rahman, D.F. 2018. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton Self Compacting Concrete (SCC) Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton.
- Sukirman, S. 2003. Perkerasan jalan raya. *Penerbit NOVA, Bandung*.
- SK SNI T-15. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1968. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1969. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1970. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).

- SNI 03-4142. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Pustran-Balitbang PU.
- SNI 03-4804. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-6861.1. 2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 2493. 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 2847. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 2491. 2014. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Specimen Beton Silinder*. (ASTM C496/C496-04, IDT).
- SNI 4154. 2014. *Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (Menggunakan Balok Sederhana Dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang)*. (ASTM C293/C293M-10, IDT). Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 2847. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Buku Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Yogyakarta.
- Trimurtiningrum, R. 2018. Pengaruh Penambahan Serat Bambu Terhadap Kuat Tarik dan Kuat Tekan Beton. *None*, 3(1), pp.1-6.
- Yunanto, A.D., Gunawan P., Sunarmasto S. 2014. Studi Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas Beton Ringan Teknologi Foam Dengan Bahan Tambah Serat Polyester. *Matriks Teknik Sipil*, 2(4).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Pemakaian Laboratorium

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</p>	<p>Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uii.ac.id</p>
<p>Nomor : 138/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VII/2023 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium</p>		
<p>Kepada Yth: KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>		
<p><i>Assalamu'alaikum Wr. Wb.</i></p>		
<p>Yang bertanda tangan dibawah ini:</p>		
NAMA	:	AZKA JINDAR THİYAFI
NIM	:	19511278
JUDUL TUGAS AKHIR	:	PENGARUH BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI DAN SIKAFUME TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN KUAT LENTUR BETON SCC
DOSEN PEMBIMBING	:	ASTRIANA HARDAWATI, S.T., M. ENG
<p>Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.</p>		
<p>Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.</p>		
<p><i>Wassalamu'alaikum Wr. Wb.</i></p>		
 <p>Sekretaris Program Sarjana Teknik Sipil,  DINIA ANGGRAENI, M. ENG</p>	<p>Yogyakarta, 25 Juli 2023 Pemohon  AZKA JINDAR THİYAFI NIM. 19511278</p>	

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI 03-1970-1990)

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Penelitian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	478	478	478
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	984	970	977
Berat piknometer berisi air, gram (B)	670	660	665
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,570	2,516	2,54
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,688	2,632	2,66
Berat jenis semu ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,915	2,845	2,88
Penyerapan air ($(500-Bk)/Bk \times 100\%$)	4,60%	4,60%	4,60%

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

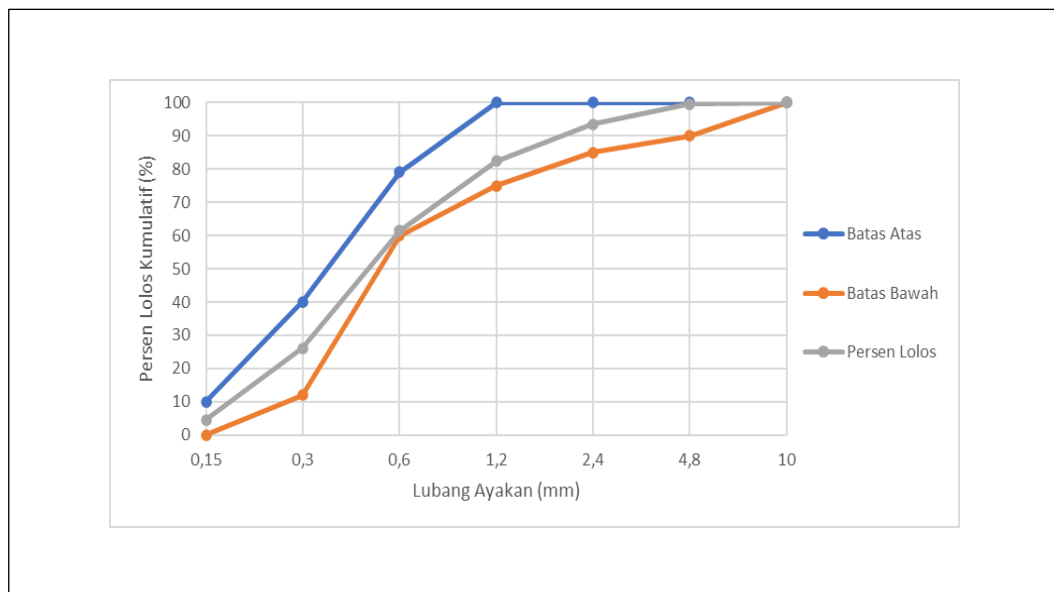
Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	9	0,45	0,45	99,55
2,40	121	6,05	6,50	93,50
1,20	222	11,10	17,60	82,40
0,60	420	21,00	38,60	61,40
0,30	707	35,35	73,95	26,05
0,15	429	21,45	95,40	4,60
Pan	92	4,60	100	0
Jumlah	2000	100	232,5	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{232,5}{100} = \boxed{2,325}$$

Hasil Analisa Saringan :

- Pasir masuk daerah : III
- Jenis pasir : Agak halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

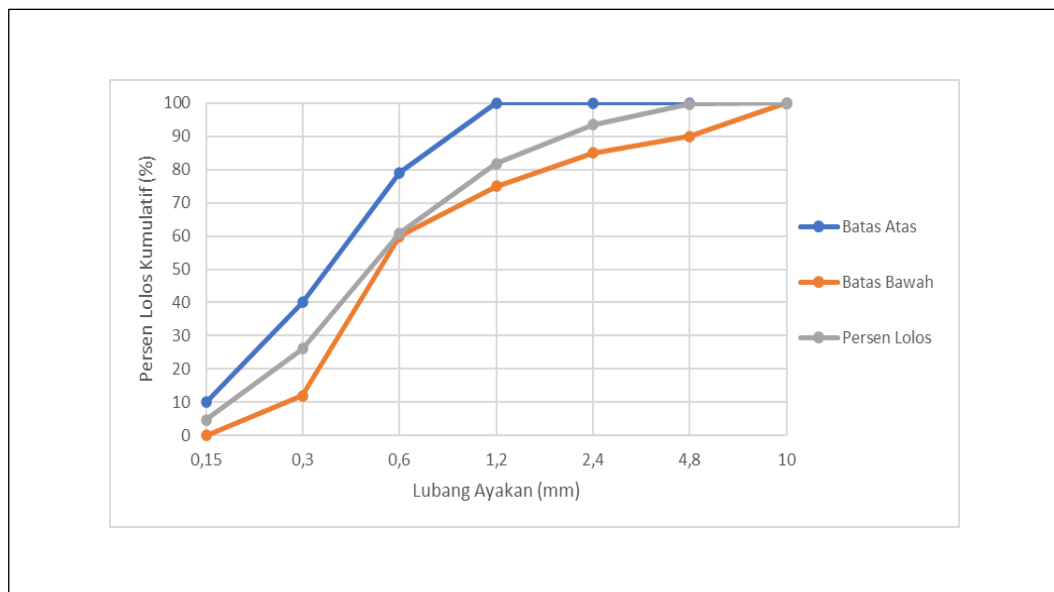
Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	6	0,30	0,30	99,70
2,40	125	6,25	6,55	93,45
1,20	234	11,70	18,25	81,75
0,60	418	20,90	39,15	60,85
0,30	695	34,75	73,90	26,10
0,15	428	21,40	95,30	4,70
Pan	94	4,70	100	0
Jumlah	2000	100	233,5	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{233,5}{100} = \boxed{2,335}$$

Hasil Analisa Saringan :

- Pasir masuk daerah : III
- Jenis pasir : Agak halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	17861	17230	17545,5
Berat agregat (W_3), gram	6670	6537	6603,5
Diameter tabung (d), cm	14,94	14,92	14,93
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,14	30,12
Volume tabung (V), cm ³	5276,64	5269,52	5273,08
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,26	1,24	1,25

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{6603,5}{5273,08} \\
 &= 1,25 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	18992	18530	18761
Berat agregat (W_3), gram	7801	7837	7819
Diameter tabung (d), cm	14,94	14,92	14,93
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,14	30,12
Volume tabung (V), cm ³	5276,64	5269,52	5273,08
Berat volume padat, gram/cm ³	1,48	1,48	1,48

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{7819}{5273,08} \\
 &= 1,48 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN LOLOS SARINGAN No. 200 /
 UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
 (SNI 03-4142-1996)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	490	491	491
Kadar lumpur $[(W1-W2)/W1] \times 100\%$	2,00%	1,80%	1,90%

Diperiksa oleh,
 Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR (SNI 03-1969-1990)

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4792	4796	4794
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3035	3040	3037,5
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,439	2,447	2,44
Berat jenis kering muka (SSD) (Bj/(Bj-Ba))	2,545	2,551	2,55
Berat jenis semu (Bk/(Bk-Ba))	2,727	2,731	2,73
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%	4,34%	4,25%	4,30%

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

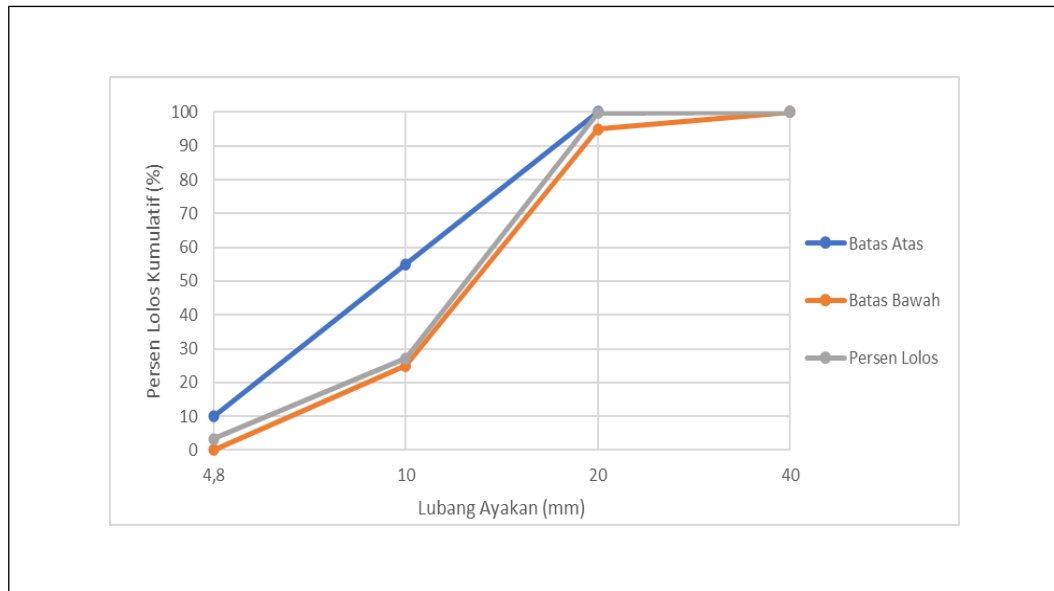
**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	10	0,2	0,2	99,80
10,00	3631	72,62	72,82	27,18
4,80	1191	23,82	96,64	3,36
2,40	12	0,24	96,88	3,12
1,20	8	0,16	97,04	2,96
0,60	0	0	97,04	2,96
0,30	0	0	97,04	2,96
0,15	0	0	97,04	2,96
Pan	148	2,96	100	0
Jumlah	5000	100	654,7	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{654,7}{100} = \boxed{6,547}$$

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20MM**



Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

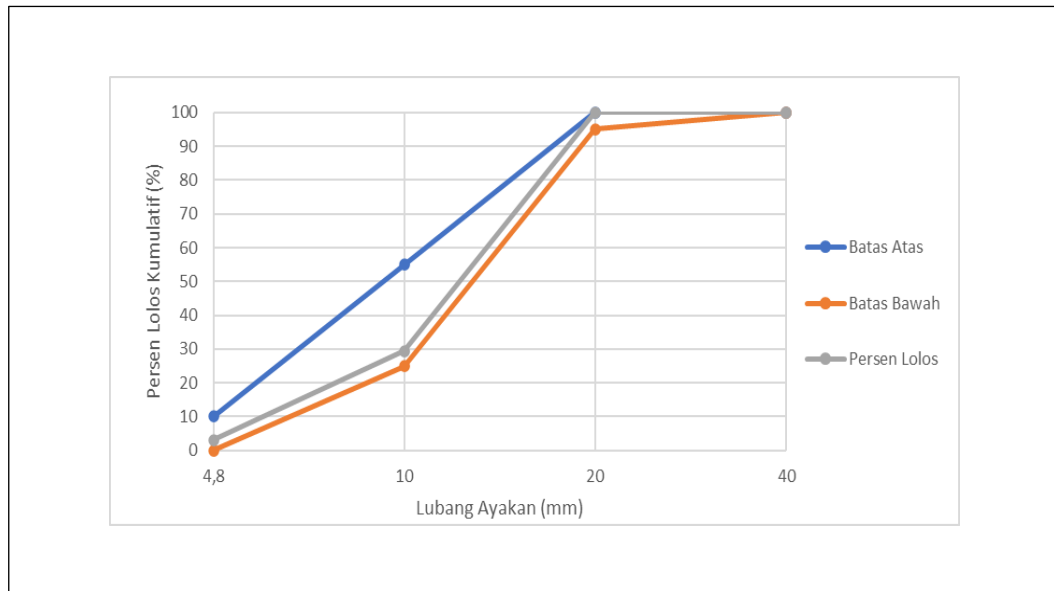
**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	3527	70,54	70,54	29,46
4,80	1314	26,28	96,82	3,18
2,40	14	0,28	97,10	2,90
1,20	6	0,12	97,22	2,78
0,60	0	0	97,22	2,78
0,30	0	0	97,22	2,78
0,15	0	0	97,22	2,78
Pan	139	2,78	100	0
Jumlah	5000	100	653,3	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{653,3}{100} = \boxed{6,533}$$

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20MM**



Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	18378	17836	18107
Berat agregat (W_3), gram	7187	7143	7165
Diameter tabung (d), cm	14,96	14,95	14,96
Tinggi tabung (t), cm	30,14	30,11	30,13
Volume tabung (V), cm ³	5297,80	5285,46	5273,08
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,36	1,35	1,36

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{7165}{5273,08} \\
 &= 1,36 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11191	10693	10942
Berat tabung + agregat (SSD) (W_2), gram	19254	18891	19072,5
Berat agregat (W_3), gram	8063	8198	8130,5
Diameter tabung (d), cm	14,96	14,95	14,96
Tinggi tabung (t), cm	30,14	30,11	30,13
Volume tabung (V), cm ³	5297,80	5285,46	5273,08
Berat volume padat, gram/cm ³	1,52	1,55	1,54

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{8130,5}{5273,08} \\
 &= 1,54 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh,
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Azka Jindar T)

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton SCC

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat tekan rencana ($f'c$)	41,5	MPa	
2	Deviasi Standar	-		Diabaikan
3	Nilai tambah	12		
4	Kuat tekan yang ditargetkan ($f'cr$)	53,5	MPa	
5	Jenis semen	Tipe I		Holcim PCC (<i>dynamix</i>)
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah		Clereng
7	Jenis agregat halus	Pasir		Progo
8	Faktor air semen (fas)	0,36		Grafik 1 SNI
9	<i>Slump</i>	30-60	mm	
10	Ukuran agregat kasar maksimum	20	mm	
11	Wh (batu tak dipecah)	180		Tabel 3 SNI
12	Wk (batu dipecah)	210		Tabel 3 SNI
13	Kadar air bebas	190	Kg	
14	Jumlah semen	527,778	Kg	
15	Kadar semen minimum	325	Kg	Tabel 4 SNI
16	Kadar semen maksimum	-		
17	Berat jenis agregat halus	2,66		Uji Properties
18	Berat jenis agregat kasar	2,55		Uji Properties
19	Persen agregat halus	51	%	<i>EFNARC 2005</i>
20	Persen agregat kasar	49	%	<i>EFNARC 2005</i>
21	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,61		
22	Berat isi beton	2370	Kg/m ³	Grafik 6 SNI
23	Kadar agregat gabungan	1652,22	Kg/m ³	
24	Kadar agregat halus	842,633	Kg/m ³	
25	Kadar agregat kasar	809,589	Kg/m ³	
26	Kadar semen digunakan	527,778	Kg/m ³	
27	Kadar air digunakan	190	Kg/m ³	
28	Kadar <i>viscocrete</i> 3115N digunakan		Kg/m ³	0,9% dari berat semen
29	Kadar abu sekam padi digunakan		Kg/m ³	10% dari berat semen
30	Kadar <i>sikafume</i> digunakan		Kg/m ³	Variasi 0%, 3%, 5%, 8%, 10% dari berat semen

Lampiran 5 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton SCC

Variasi (%)		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 0% - SF 0%	S1	151,2	301,6	17955,333	12,60	724700	40,363	36,893
	S2	150,6	303,3	17813,113	11,75	582200	32,686	
	S3	151,3	304,0	17979,091	12,53	712700	39,638	
	S4	150,7	301,7	17836,777	11,82	620500	34,785	
	S5	150,5	302,2	17789,464	12,05	658100	36,993	
ASP 10% - SF 0%	S1	151,2	303,6	17955,332	11,96	691200	38,496	39,543
	S2	150,4	301,5	17765,832	12,46	733500	41,287	
	S3	150,7	302,4	17836,777	12,68	716000	40,142	
	S4	151,1	301,8	17931,590	11,92	675900	37,693	
	S5	151,8	303,2	18098,118	12,54	725700	40,098	
ASP 10% - SF 3%	S1	151,4	302,5	18002,865	12,28	731900	40,655	40,260
	S2	151,0	303,2	17907,863	12,22	750800	41,926	
	S3	150,3	302,9	17742,215	12,37	769300	43,360	
	S4	151,5	303,5	18026,655	11,88	683200	37,899	
	S5	151,0	302,4	17907,863	11,73	670800	37,458	
ASP 10% - SF 5%	S1	150,3	302,4	17742,215	12,33	817900	46,096	44,136
	S2	150,7	303,6	17836,777	12,46	797500	44,713	
	S3	151,4	303,2	18002,865	12,30	786600	43,691	
	S4	151,8	301,8	18098,118	12,34	819800	45,296	
	S5	151,2	302,6	17955,332	11,98	734100	40,883	
ASP 10% - SF 8%	S1	151,7	303,2	18074,281	12,19	769100	42,550	41,888
	S2	151,1	303,5	17,931,590	12,07	728000	40,598	
	S3	150,8	302,6	17860,456	12,26	785100	43,959	
	S4	151,0	301,5	17907,863	12,16	705700	39,407	
	S5	150,3	302,2	17742,215	12,30	761600	42,924	
ASP 10% - SF 10%	S1	151,5	302,6	18026,655	12,13	718400	39,853	38,783
	S2	150,7	303,2	17836,777	12,24	670300	37,580	
	S3	151,2	301,7	17955,332	12,30	739900	41,208	
	S4	150,9	303,5	17884,152	12,16	655000	36,627	
	S5	151,0	301,2	17907,863	12,21	692100	38,647	










Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SCC






Variasi (%)		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 0% - SF 0%	S1	151,5	301,6	143546,908	12,15	273000	3,804	3,625
	S2	151,0	303,3	143879,602	12,11	260000	3,614	
	S3	151,4	304,0	144593,686	11,97	250000	3,458	
ASP 10% - SF 0%	S1	150,8	302,5	143310,032	11,88	268000	3,740	3,962
	S2	151,3	301,7	143404,939	12,21	290000	4,044	
	S3	151,9	303,4	144784,884	12,37	297000	4,103	
ASP 10% - SF 3%	S1	150,7	303,8	143830,468	12,21	290000	4,033	3,893
	S2	151,1	302,5	143595,131	11,85	265000	3,691	
	S3	150,3	304,0	143543,138	12,16	284000	3,957	
ASP 10% - SF 5%	S1	151,5	303,4	144403,620	12,26	287000	3,975	4,265
	S2	150,8	302,2	143167,906	12,25	310000	4,331	
	S3	151,8	301,7	143878,848	12,34	323000	4,490	
ASP 10% - SF 8%	S1	151,6	301,4	143546,405	12,26	300000	4,180	4,057
	S2	150,9	302,8	143547,285	12,20	281000	3,915	
	S3	151,3	302,5	143785,198	12,25	293000	4,076	
ASP 10% - SF 10%	S1	150,5	303,4	143450,461	12,12	273000	3,806	3,926
	S2	151,3	302,5	143785,198	12,21	288000	4,006	
	S3	151,6	301,7	143689,285	12,15	285000	3,967	

Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Lentur Beton SCC

Variasi (%)		Lebar Patah (mm)	Tinggi Patah (mm)	Jarak rata-rata patah (mm)	Berat Beton (kg)	Beban (kgf)	Kuat Lentur (MPa)	Rata-rata (MPa)
ASP 0% - SF 0%	S1	101,5	101,6	148,4	9,07	1105	4,656	4,811
	S2	100,8	101,5	143,2	9,13	1210	5,144	
	S3	101,2	101,3	146,8	8,97	1090	4,633	
ASP 10% - SF 0%	S1	100,8	102,3	146,5	9,17	1160	4,854	4,750
	S2	102,4	102,7	142,1	9,11	1145	4,680	
	S3	101,2	101,8	145,6	9,06	1120	4,714	
ASP 10% - SF 3%	S1	101,4	101,3	145,8	9,21	1210	5,133	4,951
	S2	100,9	102,2	143,5	9,23	1180	4,943	
	S3	102,2	101,3	146,2	9,15	1135	4,778	
ASP 10% - SF 5%	S1	101,7	102,3	146,5	9,31	1300	5,392	5,246
	S2	101,2	102,0	142,8	9,29	1240	5,199	
	S3	102,4	101,3	145,2	9,26	1225	5,146	
ASP 10% - SF 8%	S1	100,8	101,5	147,5	9,13	1150	4,889	5,031
	S2	101,6	102,4	144,2	9,19	1190	4,931	
	S3	102,2	101,8	147,0	9,24	1265	5,273	
ASP 10% - SF 10%	S1	101,3	102,6	146,4	9,11	1100	4,554	4,627
	S2	101,8	102,2	145,8	9,20	1145	4,754	
	S3	100,6	101,8	143,2	9,16	1080	4,573	

Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian

Variasi ASP 0% - SF 0%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
		
Variasi ASP 10% - SF 0%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
		
Variasi ASP 10% - SF 3%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
		

Variasi ASP 10% - SF 5%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
		
Variasi ASP 10% - SF 8%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
		
Variasi ASP 10% - SF 10%		
Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
