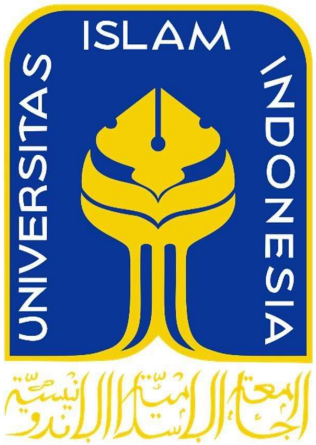
TUGAS AKHIR

PENGARUH ABU BOILER KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON SCC MUTU TINGGI

(*EFFECT OF PALM OIL FUEL ASH AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENT ON THE CHARACTERISTICS OF HIGH-STRENGTH SELF COMPACTING CONCRETE*)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil



Arif Firstrialdus Salam
20511414

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH ABU BOILER KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON SCC MUTU TINGGI

(*EFFECT OF PALM OIL FUEL ASH AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENT ON THE CHARACTERISTICS OF HIGH-STRENGTH SELF COMPACTING CONCRETE*)

Disusun oleh

Arif Firstrialdus Salam
20511414

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

Diuji pada tanggal 09 September 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
17/09 2024	11-09-24	11/9 2024
Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.	**Astrtiana Hardawati S.T., M.Eng.**	**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**
NIK: 855110201	**NIK: 165111301**	**NIK: 185111304**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

17/9 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 menyelesaikan 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 dalam 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 saya 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, 09 September 2024

Yang membuat pernyataan,

Arif Firstrialdus Salam

(20511414)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah SWT atas seluruh rahmat serta hidayah-nya, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat kritik, saran, dan dorongan baik fisik maupun verbal dari berbagai pihak, Alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak saran dan kritik selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.
3. Astrtiana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1 dan Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan koreksi yang membangun dalam Tugas Akhir sehingga menjadi lebih baik.
4. Bapak Daru Salam, A.md dan Suwarno selaku Laboran di Laboratorium BKT yang telah memberikan arahan dan membantu selama proses pengumpulan data pengujian.
5. Orang tua saya Bapak Siin Wadir dan Ibu Suparti serta adik saya M. Ahsan Al-kayyis dan Aulia Diena Hafidzah yang telah memberikan do'a, semangat, cinta, dan kasih sayang, serta menjadi sosok luar biasa bagi penulis.
6. Pemilik NIM 20711173 yang telah menjadi bagian dari perjalanan dan menjadi

sosok rumah bagi pemulis, berkontribusi banyak dalam penyelesaian penelitian ini, baik menemani, mendukung, menghibur, dan mendengar keluh kesah. Atas kebersamaannya semoga kedepanya bersama untuk menjadi versi lebih baik.

7. Teman-teman oestad, yamh, ukm, dan moehi yang telah memberikan semangat, motivasi dan selalu memberikan hiburan yang menarik selama proses pendewasaan.
8. Teman-teman Teknik Sipil 2020 yang selalu berjuang bersama, rasa kekeluargaan, dan memberikan warna warni perkuliahan ini.

Kritik dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat untuk perbaikan sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 09 September 2024
Penulis,

Arif Firstrialdus Salam
(20511414)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

ABSTRAK xv

ABSTRAK xvi

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

2.2 Referensi Penelitian 5

2.2.1 Penelitian terhadap pengaruh penggunaan abu boiler kelapa sawit 5

2.2.2 Penggunaan abu boiler kelapa sawit pada campuran beton SCC 6

2.2.3 Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton SCC 6

2.3 Keaslian Penelitian 13

BAB III LANDASAN TEORI 14

3.1 Pengertian Umum 14
3.2 *Self Compacting Concrete* (SCC) 14
3.3 Material Penyusun Beton SCC 16
3.3.1 Semen *Portland* (PC) 16
3.3.2 Agregat halus 17
3.3.3 Agregat kasar 20
3.3.4 Air 21
3.4 Bahan-tambah 21
3.4.1 *Superplasticizer Viscocrete 1003* 23
3.4.2 *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) 23
3.5 Perencanaan Campuran Beton 25
3.6 Pengujian Karakteristik Beton SCC 28
3.7 Perawatan Beton 29
3.8 Pengujian Beton 30
3.8.1 Kuat desak 30
3.8.2 Kuat tarik belah 30
3.8.3 Modulus elastisitas 30
BAB IV METODE PENELITIAN 34
4.1 Umum 34
4.2 Lokasi dan Sampel Penelitian 34
4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian 34
4.3.1 Bahan penelitian 35
4.3.2 Peralatan yang digunakan 35
4.4 Tahap Persiapan Penelitian 36
4.4.1 Persiapan material 36
4.4.2 Pengujian material 37
4.5 Tahap Penelitian 37
4.5.1 Pembuatan sampel benda uji 37
4.5.2 Perencanaan trial mix design 38
4.5.3 Pengujian karakteristik beton SCC mutu tinggi 38
4.5.4 Perawatan benda uji 39

4.5.5 Pengujian benda uji 39
4.5.6 Pengolahan data 40
4.5.7 Analisis dan pembahasan 40
4.5.8 Kesimpulan dan saran 40
4.6 Kerangka Konsep Penelitian 41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 43
5.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton 43
5.1.1 Agregat halus 43
5.1.2 Agregat kasar 49
5.1.3 Abu boiler kelapa sawit 54
5.2 Perencanaan Campuran Beton 56
5.2.1 Komposisi campuran beton SCC mutu tinggi 60
5.3 Hasil Pengujian Sampel Beton Trial 61
5.4 Hasil Pengujian Beton SCC 64
5.4.1 *Slump* 64
5.4.2 Kuat desak beton 66
5.4.3 Tarik belah 69
5.4.4 Modulus elastisitas 71
5.4.5 Pola retak beton 77
5.5 Rekapitulasi 79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 81
6.1 Kesimpulan 81
6.2 Saran 82
DAFTAR PUSTAKA 83
LAMPIRAN 86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan penelitian terdahulu	9
Tabel 3.1	Sifat-sifat beton SCC	16
Tabel 3.2	Unsur Kimia Pembentuk Semen	17
Tabel 3.3	Karakteristik *Superplasticizer Sika Viscocrete 1003*	23
Tabel 3.4	Komposisi Kimia Abu Boiler Kelapa Sawit	25
Tabel 3.5	Fraksi Volume Agregat Kasar Optimum	26
Tabel 3.6	Estimasi Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar	26
Tabel 3.7	Rasio (w/c) Disarankan Dengan Campuran Superplasticizer	27
Tabel 3.8	Kriteria syarat beton SCC	29
Tabel 4.1	Jumlah sampel benda uji Beton	37
Tabel 5.1	Hasil Pengujiann Berat Jenis dan Penyerapan Air	44
Tabel 5.2	Hasil Pengujiann Berat Volume Gembur	45
Tabel 5.3	Hasil Pengujiann Berat Volume Padat	45
Tabel 5.4	Hasil Pengujiann Analisa Saringan Sampel 1	46
Tabel 5.5	Hasil Pengujiann Analisa Saringan Sampel 2	46
Tabel 5.6	Hasil Pengujiann Kadar Lumpur	48
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	50
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur	51
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Berat Volume Padat	51
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Analisa Saringan Sampel 1	52
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Analisa Saringan Sampel 2	52
Tabel 5.12	Perbandingan Kesetaraan Unsur-unsur Kimiawi antara PC dan Abu boiler (POFA) dalam (%)	55
Tabel 5.13	Perbandingan Kesetaraan Berat PC dengan Berat Abu dalam Campuran Beton	56
Tabel 5.14	Hasil Mix Desain Campuran Beton SCC Mutu Tinggi	61
Tabel 5.15	Hasil Pengujian Sampel Beton Trial	61

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Slump-flow 65
Tabel 5.17 Hasil Pengujian V-Funnel 65
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas ASTM C-649-94 73
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Modulus 75
Tabel 5.20 Pola Retak Pada Setiap Komposisi 78
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian 80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Perbandingan porsi beton SCC dengan beton konvensional 15
Gambar 3.2 Palm Oil Fuel Ash (POFA) 24
Gambar 3.3 Alat Pengujian Slump-flow 28
Gambar 3.4 Alat Pengujian V-funnel 29
Gambar 3.5 Grafik kurva hubungan tegangan regangan beton 31
Gambar 3.6 Modulus sekan dan modulus tangen beton 32
Gambar 4.1 *Flowchart* Penelitian 42
Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1 47
Gambar 5.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2 48
Gambar 5.3 Gradasi Agregat Kasar Sampel 1 53
Gambar 5.4 Gradasi Agregat Kasar Sampel 2 54
Gambar 5.5 Pengujian *Slump-flow* Trial 1 62
Gambar 5.6 Pengujian *Slump-flow* Trial 2 62
Gambar 5.7 Pengujian *Slump-flow* Trial 3 63
Gambar 5.8 Pengujian *Slump-flow* Trial 4 63
Gambar 5.9 Pengujian *Slump-flow* SCC 64
Gambar 5.10 Pengujian *V-Funnel* SCC 66
Gambar 5.11 Pengujian Kuat Desak Beton 67
Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Desak Beton 68
Gambar 5.13 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 70
Gambar 5.14 Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Desak 71
Gambar 5.15 Grafik Regangan Tegangan Sampel Uji BK-SCC 72
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi 76
Gambar 5.17 Pola Retak Beton 77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Laboratorium 87
Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat 88
Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton 99
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian *Slump* 100
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan 101
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik 102
Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas 103
Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian 145

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

POFA = *Palm Oil Fuel Ash*

PC = *Portland Cement*

SNI = Standar Nasional Indonesia

ASTM = American Standard Testing and Material

f'c = kuat tekan beton (MPa)

f'cr = kuat tekan beton ditargetkan (MPa)

f'ct = kuat tarik belah beton (MPa)

Ec = modulus elastisitas beton (MPa)

SCC = *Self Compacting Concrete*

SNI = standar nasional indonesia

PBI = Peraturan Beton Bertulang Indonesia

EFNARC = *The European Federation of National Associations Representing for Concrete*

SSD = berat jenis kering permukaan jenuh

MHB = modulus halus butir

FAS = faktor air semen

Bk = berat pasir kering mutlak (gr)

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

W1 = berat agregat tanpa dipadatkan (gr)

W2 = berat agregat yang dipadatkan (gr)

V = volume silinder (cm^2)

B = berat agregat kering mutlak setelah diayak (gr)

W1 = berat agregat sebelum dicuci (gr)

W2 = berat agregat setelah dicuci (gr)

L = pajang benda uji silinder (mm)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

d = diameter benda uji silinder (mm)

P = beban maksimum (N)

E = modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = tegangan pada saat 40% dari beban *ultimate* (MPa)

S_1 = tegangan pada regangan 0,00005 (MPa)

ε_2 = regangan yang terjadi pada $S_{2.}$

Ec = modulus elastisitas beton (MPa),

Wc = berat volume beton normal (kg/m^3), dan

mm = milimeter

cm = centimeter

kg = kilogram

gr = gram

N = Newton

kN = kiloNewton

MPa = MegaPascal

ABSTRAK

Perkembangan teknologi beton terus mengalami kemajuan, salah satunya adalah inovasi *Self Compacting Concrete* (SCC) yang mampu memadat sendiri tanpa bantuan penggetar. SCC menawarkan alternatif pengecoran beton yang lebih efisien, seiring dengan tuntutan peningkatan kualitas konstruksi. Namun, penggunaan semen portland yang umum dalam beton menghadirkan dampak negatif terhadap lingkungan. Untuk mengatasi hal ini, limbah kelapa sawit berupa *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dapat digunakan sebagai pengganti semen karena sifat *pozzolan*nya yang tinggi. POFA terbukti mampu meningkatkan kualitas beton, termasuk pada SCC mutu tinggi. Penggunaan POFA tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga memanfaatkan limbah yang selama ini kurang termanfaatkan. Penelitian ini mengeksplorasi pemanfaatan POFA dalam campuran beton SCC mutu tinggi untuk mengoptimalkan material ramah lingkungan serta meningkatkan kinerja beton.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik beton SCC mutu tinggi dengan menggunakan POFA sebagai pengganti sebagian semen. Campuran beton SCC sesuai dengan SNI-6468-2000, dengan variasi persentase POFA sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen. Dalam komposisi beton, digunakan *superplasticizer* tipe viscorete 1003 sebesar 1%. Beton diuji pada usia 28 untuk menganalisis kuat tekan, kekuatan tarik belah, dan modulus elastisitas.

Penelitian yang dihasilkan menunjukkan penggunaan POFA sebagai pengganti semen memengaruhi sifat mekanik dan kelecakan pada beton SCC mutu tinggi. Semakin tinggi persentase POFA yang digunakan dapat menurunkan tingkat kelecakan beton segar. Pengujian kuat tekan pada beton SCC mutu tinggi dengan penggunaan abu boiler kelapa sawit sebesar 10% dari berat semen mengalami kenaikan dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 50,29 MPa atau 5,4% lebih tinggi dari kuat tekan beton normal, nilai kuat tarik belah sebesar 4,044 MPa meningkat 4,8% dari kuat tarik belah beton normal. Pada pengujian modulus elastisitas berdasarkan data pengujian laboratorium diperoleh nilai optimum sebesar 34755,78 MPa pada variasi 0% POFA, sedangkan pengujian modulus elastisitas berdasarkan kuat tekan diperoleh nilai optimum sebesar 33327,06 MPa pada variasi 10% POFA, dan pada pengujian modulus elastisitas berdasarkan berat volume beton diperoleh nilai optimum sebesar 34628,81 MPa pada variasi 10% POFA.

Kata kunci: Palm Oil Fuel Ash (POFA), SCC mutu tinggi, viscocrete 1003

ABSTRAK

The development of concrete technology continues to progress, one of which is the innovation of Self Compacting Concrete (SCC) which is able to compact itself without the help of a vibrator. SCC offers a more efficient alternative to concrete casting, along with demands for improved construction quality. However, the common use of portland cement in concrete presents a negative impact on the environment. To overcome this, palm oil waste in the form of Palm Oil Fuel Ash (POFA) can be used as a cement replacement due to its high pozzolanic properties. POFA is proven to improve the quality of concrete, including in high strength SCC. The use of POFA not only reduces environmental impact, but also utilizes waste that has been underutilized. This study explores the use of POFA in high-strength SCC concrete mixes to optimize environmentally friendly materials and improve concrete performance.

This study aims to evaluate the characteristics of high-strength SCC concrete using POFA as a partial replacement for cement. The SCC concrete mix was in accordance with SNI-6468-2000, with varying percentages of POFA at 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% of the total weight of cement. In the concrete composition, viscorete 1003 type superplasticizer was used at 1%. The concrete was tested at age 28 to analyze the compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity.

The resulting research shows that the use of POFA as a cement replacement affects the mechanical properties and flexibility of high-strength SCC concrete. The higher percentage of POFA used can reduce the level of fresh concrete. The compressive strength test on high quality SCC concrete with the use of palm oil boiler ash at 10% of the cement weight increased with an average compressive strength value of 50.29 MPa or 5.4% higher than the compressive strength of normal concrete, the split tensile strength value of 4.044 MPa increased by 4.8% from the split tensile strength of normal concrete. In the elastic modulus test based on laboratory test data, the optimum value of 34755.78 MPa was obtained in the 0% POFA variation, while the elastic modulus test based on compressive strength obtained an optimum value of 33327.06 MPa in the 10% POFA variation, and in the elastic modulus test based on the volume weight of concrete obtained an optimum value of 34628.81 MPa in the 10% POFA variation.

Keywords: *Palm Oil Fuel Ash* (POFA), *High Strength SCC, Viscocrete 1003*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi beton dalam upaya meningkatkan kualitas dan kinerja beton selalu berkembang. Inovasi teknologi saat ini, berbagai jenis beton semakin populer, salah satunya adalah beton SCC (*Self Compacting Concrete).* Dengan kemampuan untuk menyalurkan dan memadat dengan sendirinya, beton SCC menjadi alternatif untuk pengecoran beton konvensional. Menurut (Tjaronge M.Wihardi dkk., 2006) dan (Hartono dkk, 2007), SCC (*Self Compacting Concrete*) merupakan suatu beton segar yang dinilai dapat mengalir melalui tulangan dan memenuhi seluruh sudut ruang dalam cetakan tanpa alat bantu mekanik atau pemadatan manual.

Peningkatan kualitas konstruksi tentu akan sejalan dengan peningkatan kualitas material yang digunakan, salah satunya dengan semen *portland* yang telah digunakan dalam industri konstruksi selama bertahun-tahun. Namun, menurut (V. M. Malhotra, 1999), penggunaan semen memiliki berbagai dampak pada kelestarian lingkungan, sehingga mendorong untuk mencari alternatif material sebagai pengganti semen. Penggunaan material pengganti merupakan bukti berkembangnya inovasi di industri konstruksi dalam mengimplementasikan *Engineering Solutions for Sustainability*, tentunya menjadi sebuah langkah dalam peningkatan kualitas material dalam industri konstruksi.

Hasil limbah kelapa sawit menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan material konstruksi bangunan. Pertumbuhan industri kelapa sawit yang terus menerus akan menghasilkan limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit dapat menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO). Industri ini membutuhkan lahan baru karena produksi CPO yang menghasilkan limbah berupa *Palm Oil Fuel*

Ash (POFA) atau abu boiler kelapa sawit dalam jumlah besar yang seringkali kurang dimanfaatkan dan biasanya dibuang di lahan terbuka. Limbah ini dapat menimbulkan berbagai masalah seperti gangguan lalu lintas, gangguan kesehatan, dan pencemaran lingkungan. Kerusakan lingkungan dapat disebabkan oleh meningkatnya jumlah POFA yang dihasilkan setiap tahunnya dan kurang dimanfaatkannya.

Palm Oil Fuel Ash (POFA), juga dikenal sebagai abu boiler kelapa sawit, adalah bahan atau abu sisa yang dihasilkan dari pembakaran boiler pada suhu 800 °C hingga 1.000 °C untuk menghasilkan energi mekanik dari serat, tandan kosong, dan cangkang sawit. Pembakaran ini menghasilkan abu yang banyak mengandung *pozzolan* yang dapat digunakan. Abu boiler dapat digunakan sebagai bahan material konstruksi karena memiliki sifat *pozzolan* yang tinggi. Menurut (Ting dkk., 2019), penggunaan POFA sebagai pengganti semen dapat membantu mengurangi penggunaan semen dan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit. Penggunaan POFA sebagai pengganti semen dapat berdampak positif pada kelestarian lingkungan. Karena kandungan silika (SiO2) yang tinggi, POFA dianggap sebagai bahan *pozzolan* yang baik, Hamada dkk., (2018). Menurut penelitian oleh (Ranjbar dkk., 2016), ketika POFA digunakan sebagai bahan dalam campuran beton, itu memiliki kuat tekan yang sebanding atau lebih tinggi dari beton biasa selama 28 hari. Seiring dengan perkembangan teknologi beton, abu sawit telah digunakan sebagai bahan dasar beton geopolimer oleh Donny (2005) dan sebagai bahan-tambah mineral pada *Self Compacting Concrete* (SCC) (Safiuddin dkk., 2011).

Berdasarkan pertimbangan tersebut penelitian ini memanfaatkan POFA sebagai material yang digunakan dalam campuran beton SCC mutu tinggi dengan persentase tertentu. Abu boiler yang digunakan didapat dengan cara mengambil sisa dari pembakaran tungku boiler yang sudah menjadi tumpukan limbah kurang termanfaatkan. Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai pengganti semen dalam campuran beton diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan semen pada beton SCC mutu tinggi. Pengadaan bahan baku yang melimpah serta mudah didapatkan dirasa sangat tepat dijadikan sebagai bahan pengganti di dalam proses pembuatan

beton yang dapat menjadi salah satu solusi untuk pemanfaatan limbah hasil industri kelapa sawit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh POFA sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton SCC mutu tinggi?
2. Bagaimana hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas dari variasi penggunaan POFA sebagai bahan pengganti sebagian semen pada umur 28 hari?
3. Berapa komposisi POFA optimum untuk menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik beton SCC mutu tinggi?
4. Bagaimana model pola retak benda uji pada setiap komposisi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh POFA sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton SCC mutu tinggi.
2. Menganalisis hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas dari variasi penggunaan POFA sebagai bahan pengganti sebagian semen pada umur 28 hari.
3. Menenetukan komposisi optimum POFA untuk menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik beton SCC mutu tinggi.
4. Mengidentifikasi pola retak beton SCC mutu tinggi pada setiap komposisi campuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini yang dapat diperoleh dan diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain sebagai berikut.

1. Menambah wawasan ilmu pengetahuan dalam pembuatan beton SCC mutu tinggi dengan berbagai variasi komposisi campuran POFA.

2. Sebagai salah satu upaya mengurangi limbah sisa hasil pembakaran boiler yang belum termanfaatkan dengan baik.
3. Sebagai referensi penggunaan limbah POFA untuk beton SCC mutu tinggi pada penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, ada beberapa batasan agar penelitian dapat dilaksanakan dengan mudah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton yang direncanakan dalam pengujian sebesar ($f'c$) = 45 MPa.
2. Umur pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
3. Benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
4. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII.
5. *Superlasticizer* menggunakan produk PT. Sika Indonesia yaitu Sika *Viscocrete* 1003.
6. *Silica fume* tidak digunakan sebagai zat-tambah dalam penelitian ini.
7. Semen menggunakan *Portland Cement Type* 1, yaitu menggunakan Semen Gresik.
8. Agregat halus berasal dari Progo, Kab. Kulon Progo, Yogyakarta.
9. Agregat kasar atau kerikil berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, Yogyakarta.
10. Abu boiler kelapa sawit atau POFA yang digunakan berasal dari Kota Bengkulu.
11. Air berasal dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
12. Variabel kontrol dalam penelitian ini terletak pada faktor air semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan *superplasticizer* 1% dari berat semen.
13. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah penggunaan POFA sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase campuran sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen.
14. *Mix design* menggunakan metode SNI 03-6468-2000 dan EFNARC sebagai standar karakteristik beton SCC mutu tinggi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Self Compacting Concrete, juga dikenal sebagai SCC merupakan salah satu jenis beton inovatif yang memiliki kemampuan mengalir tanpa mengalami segregasi dan *self-compact* tanpa memerlukan peralatan getar. Menurut EFNARC (2005), SCC tidak memerlukan proses getaran selama penerapannya karena kemampuan alirannya yang tinggi, memungkinkannya mengalir dan mencapai kepadatan sendiri. Bahan yang digunakan dalam pembuatan SCC hampir sama dengan beton biasa, namun perlu dilakukan penambahan bahan kimia seperti *superplasticizer*. Beton jenis ini umumnya digunakan untuk pekerjaan beton di area struktur khusus atau kompleks dimana metode pemadatan konvensional sulit dilakukan untuk mencapai struktur berkualitas tinggi (Dehn dkk., 2000).

2.2 Referensi Penelitian

Beberapa penelitian terdahulu yang pernah meneliti mengenai penggunaan abu cangkang sawit, *superplasticizer*, dan bahan-tambah lain pada beton SCC yang pernah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

2.2.1 Penelitian terhadap pengaruh penggunaan abu boiler kelapa sawit

1. (Rahmadia, 2018), menggunakan abu boiler kelapa sawit sebagai bahan pengganti pada sebagian semen dengan nilai persentase 10%, 15%, 20%, dan 25% yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum untuk beton umur 7 dan 28 hari serta pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit terhadap beton mutu tinggi. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah beton dengan bahan-tambah abu boiler cangkang kelapa sawit mengalami kenaikan kuat tekan maksimum sebesar 42,09 MPa atau sebesar 2,88% dari kuat tekan beton normal yaitu 40,91

MPa untuk umur beton 7 hari pada persentase penambahan abu boiler 20%. Untuk umur beton 28 hari kuat tekan maksimum sebesar 35,28 MPa atau sebesar 9,50% dari kuat tekan beton normal sebesar 32,33 MPa pada persentase penambahan abu boiler 15%.

2. (Panchal dkk., 2021), menganalisis perubahan sifat mekanik dan kinerja beton dengan memanfaatkan bahan bakar abu sawit sebagai pengganti parsial semen sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, dan 40% dengan penambahan *superplastizer* sebanyak 1%. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat beton pada umur 28 hari menunjukkan pada masing-masing variasi, 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, dan 40% menghasilkan kuat tekan 40 MPa, 40,48 MPa, 32,25 MPa, 21 MPa, 21 MPa dan 21 MPa. Penelitian menunjukkan pada beton variasi 10% memberikan kekuatan tinggi dibanding beton konvensional.

2.2.2 Penggunaan abu boiler kelapa sawit pada campuran beton SCC

1. (Prasetiyo, 2018), menggunakan presentase penambahan abu boiler kelapa sawit pada penelitian ini adalah 5%, 10%, 15% dan *superlasticizer* sebesar 2% dari berat semennya. Digunakan benda uji silinder dan kubus dengan mutu beton 45 MPa pada umur 21 hari. Nilai slump test pada beton normal sebesar 8 cm dan nilai slump flow test beton SCC dengan bahan-tambah dengan kadar 5%, 10% dan 15% masing – masing sebesar 59 cm, 59 cm dan 50 cm. Hasil pengujian campuran abu boiler kelapa sawit sebesar 5%, 10%, dan 15 % berturut-turut adalah 0,593%, 0,399%, 0,672%, dan 1,47% menunjukan bahwa semakin besar bahan-tambah maka akan semakin besar pula penyerapan air, tetapi akan memperkecil mutu beton. Kuat tekan yang di hasilkan dengan kadar 5% yaitu sebesar 43,59 MPa, dengan kadar 10% yaitu sebesar 36,25 MPa, dan untuk kadar 15% di dapat kuat tekan beton sebesar 32,5 MPa.

2.2.3 Penggunaan *superplasticizer* pada campuran beton SCC

1. (Irfansyah dkk., 2021), mencangkup pada *Mix design* menggunakan SNI 02-2834-2000, bahan admixture yang digunakan adalah *superplasticizer* yaitu Sika *Visconcrete* 1003, limbah marmer dengan kadar 20%, 30% dan 40%

dengan 5 benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil penelitian menunjukan kuat tekan optimum terjadi pada campuran limbah marmer 40% dengan bahan-tambah *superpasticizer* sebesar 41,948 MPa.

2. (Martius, 2020), menggunakan *admixture* berupa *superplasticizer* dengan variasi penambahan sebesar 1,5%, 2%, 2,5%. Penggunaan abu cangkang sebesar 10% dari total berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi *superplasticizer* 1,5% sebesar 34,75 MPa pada umur 28 hari. Penggunaan persentase *superplasticizer* lebih dari 1,5% dinilai melebihi dari dosis yang dibutuhkan sehingga proses hidrasi antara semen dan air terhambat yang mengakibatkan kualitas beton menurun.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu						**Penelitian yang Dilakukan**
Nama	Rahmadia	Prasetyo	Irfansyah, dkk	Martius	Panchal, dkk	Salam
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2021)	(2021)	(2024)
Judul Penelitian	Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen Untuk Beton Mutu Tinggi	Pengaaruh Penambahan Pozolan Alami (Abu Boiler Kelapa Sawit) Terhadap Sifat Mekanik dan Durabilitas Beton Self Compacting Concrate (SCC) Mutu Tinggi	Studi Analisis Beton Mutu Tinggi SCC (*Self Compacting Concrete*) Menggunakan Campuran Limbah Marmer dan *Superplasticizer*	Pengaruh Variasi *Superplasticizer* Terhadap Karakteristik *Self Compacting Concrete* dengan Abu Cangkang Sawit	*Influence of Palm Oil Fuel Ash (POFA) on Strength Properties of Concrete*	Pengaruh Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton SCC Mutu Tinggi
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum untuk beton umur 7 dan 28 hari serta pengaruh penambahan abu boiler cangkang	Untuk mengetahuinilai kuat tekan yang dihasilkan pada umur 28 hari serta pengaruh penggunaan abu boiler terhadap karakteristik beton segar	Penelitian bertujuan untuk mengetahui variasi campuran limbah marmer yang menghasilkan kuat tekan optimal, untuk mengetahui	Memahami pengaruh variasi superplasticizer terhadap karakteristik dari beton SCC dan memahami pengaruh penggunaan	Penelitian bertujuan untuk mengetahui perubahan pada sifat mekanik dan kekuatan beton mutu M30 beton mutu M30 dengan	Mengetahui pengaruh penggunaan POFA, *superplasticizer* 1003 terhadap karakteristik beton SCC mutu tinggi, kuat tekan,

Penelitian Terdahulu						**Penelitian yang Dilakukan**
Nama	Rahmadia	Prasetyo	Irfansyah, dkk	Martius	Panchal, dkk	Salam
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2021)	(2021)	(2024)
	kelapa sawit terhadap beton mutu tinggi		pengaruh campuran limbah marmer pada beton mutu tinggi SCC, dan untuk mengetahui pengaruh superplasticizer terhadap beton bermutu tinggi SCC menggunakan limbah marmer.	abu cangkang sawit terhadap karakteristik dari SCC	menggunakan (POFA)	kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton mutu tinggi
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan *Mix design* beton menggunakan SNI 03-2834:2000, Umur pengujian 7 dan 28 hari, dan Persentase penambahan abu	Penelitian dengan Mutu rencana 45 MPa pada umur 21 hari, dan Presentase penambahan abu boiler kelapa sawit sebesar 5%, 10%, 15% dan superlasticizer	Mix design menggunakan SNI 2834-2000, Persentase penambahan limbah marmer sebesar 20%, 30%, dan 40%, dan *Superplasticizer*	Penelitian menggunakan *Superplasticizer* BASF *MasterGlenium* SKY 8614, dengan variasi *superplasticizer* 1,5%, 2,0%, dan 2,5%.	Kuat tekan rencana 38,52 N/mm2. Persentase penggunaan 0%, 10%, 15%, 20%, 30%, dan 40% dihitung dari dari berat semen.	Perhitungan dengan *mix design*, pengujian *slump flow*, pengujian *v-funnel* dan pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton,

Penelitian Terdahulu						**Penelitian yang Dilakukan**
Nama	Rahmadia	Prasetyo	Irfansyah, dkk	Martius	Panchal, dkk	Salam
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2021)	(2021)	(2024)
	cangkang sawit adalah 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.	(MasterRheobuild 6) sebesar 2% dari berat semennya	sika *Viscocrete 1003*	Pengujian beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Penggunaan abu cangkang sawit 10% dari berat total semen. Curing beton dilakukan dengan menutup benda uji menggunakan karung goni basah	Penambahan superplasticizer conplast sp430 sebesar 1%. Pengujian dilakukan umur 7, 14, dan 28 hari.	dan modulus elastisitas beton.
Hasil Penelitian	Hasil pengujian kuat tekan beton tertinggi pada saat umur beton 7 hari pada variasi 20% sebesar 42,09	Hasil pengujian kuat tekan yang di hasilkan dengan kadar 5% yaitu sebesar 43,59 MPa, dengan kadar	Pengaruh superplasticizer terhadap beton mutu tinggi menyebabkan nilai slump semakin besar	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan superplasticizer dapat	Pengujian kuat tekan optimum umur 28 hari terjadi pada variasi 10% dengan kuat tekan sebesar	Hasil penelitian, penggunaan POFA sebesar 10% dari berat semen memiliki kinerja terbaik dalam hal kuat

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Nama	Rahmadia	Prasetyo	Irfansyah, dkk	Martius	Panchal, dkk	Salam
Tahun	(2018)	(2018)	(2021)	(2021)	(2021)	(2024)
	MPa ada kenaikan sebesar 2,88% dari beton normal 40,91 MPa. Untuk umur beton 28 hari kuat tekan maksimum sebesar 35,28 MPa atau sebesar 9,50% dari kuat tekan beton normal sebesar 32,33 MPa pada persentase penambahan abu boiler 15%.	10% yaitu sebesar 36,25 MPa, dan untuk kadar 15% di dapat kuat tekan beton sebesar 32,5 MPa.	dapat dilihat pada Tabel Hasil Slump. Artinya semakin banyak campuran superplasticizer akan mempengaruhi nilai fas (faktor air semen) yang semakin kecil sehingga kuat tekan beton juga semakin besar.	meninhkatkan mutu beton. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada penambahan superplasticizer 1,5% sebesar 34,75 MPa pada umur 28 hari.	40,86 Mpa terjadi kenaikan sebesar 1,02% dari beton konvensional. Design M30 grade of concrete is considered while performing tests and analyzing, it shows that 10% replacement of cement by palm oil ash (POFA) gave high strength compared to conventional concrete.	tekan sebesar 50,29 MPa dan kuat tarik belah sebesar 4,044 MPa. Pada pengujian modulus elastistas beton SCC mutu tinggi, terdapat perbedaan dalam hasil karena penggunaan metode.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan berbeda dengan penelitian sebelumnya seperti pada Tabel 2.1. Pengujian dilakukan dengan melakukan studi eksperimental menggunakan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton SCC mutu tinggi. Benda uji yang digunakan menggunakan variasi POFA sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rahmadia, 2018) (Panchal dkk., 2021). Selain itu, digunakan bahan-tambah *superplasticizer* tipe *Viscocrete* 1003 untuk meningkatkan *workability* campuran beton. Kadar *superplasticizer* yang digunakan adalah 1% dari berat semen sesuai rekomendasi yang dianjurkan PT. Sika Indonesia dan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Irfansyah dkk., 2021). Penelitian ini diadaptasi menggunakan persentase lebih kecil sebesar 5% dari penelitian sebelumnya dengan maksud mengetahui komposisi optimum dari penggunaan POFA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi $f'c \geq 41{,}4$ MPa pada umur 28 hari dengan benda uji berupa silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Umum

Menurut SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran antara *Portland Cement* (PC) atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air yang dibentuk menjadi massa padat dengan atau tanpa bahan-tambah. Beton dapat dibuat dari beberapa jenis semen dan juga dapat mengandung bahan-tambah seperti *pozzolan*, *fly ash*, mikro silika, *admixture*, dan bahan-tambah lainnya. Beton baik merupakan beton yang memiliki campuran homogen, *workability* yang cukup, padat, dan tidak berongga saat dicetak. Mutu beton yang dihasilkan bergantung pada perencanaan dan campuran material yang digunakan. Sifat-sifat material ini secara signifikan dapat mempengaruhi kinerja dan daya tahan beton secara keseluruhan. Ketika campuran beton direncanakan, penetapan kuat tekan beton (*f'c*) dan pemilihan agregat diperlukan. Penetapan ini digunakan untuk menentukan seberapa baik mutu beton yang termasuk dalam kategori beton normal, beton ringan, atau beton mutu tinggi (Adam M. Nevile & J.J. Brooks, 1987)

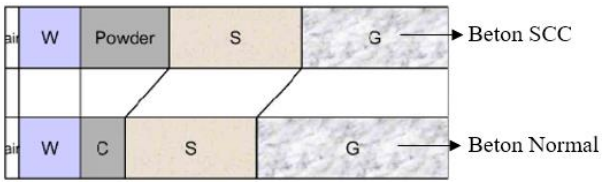
Beton mutu tinggi (*High Strength Concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Beton mutu tinggi merupakan suatu bahan yang dibuat dari campuran beton (semen, agregat, air) dan penambahan zat aditif sesuai dengan perbandingan yang ditentukan sehingga bahan itu merupakan satu kesatuan yang dapat membentuk kekuatan beton yang lebih tinggi.

3.2 *Self Compacting Concrete* (SCC)

Beton SCC adalah jenis beton yang mudah mengalir yang dapat dengan mudah masuk ke celah tulangan dan sudut daerah cetakan tanpa *vibrator*. Beton SCC memiliki *workability* yang tinggi dengan demikian, SCC umum digunakan untuk konstruksi bangunan struktur khusus/kompleks yang proses pemadatannya

sulit dijangkau (Dehn dkk., 2000). Penggunaan jenis beton SCC lebih efektif daripada beton konvensional, karena dapat mengurangi rongga yang ada di dalam area yang dicor. Selain itu, penggunaan beton SCC juga lebih mudah dibandingkan dengan beton konvensional.

Menurut (Okamura & Ouchi, 2003), komposisi beton yang menjadikan perbedaan paling utama antara beton konvesional dengan beton SCC yaitu pada penggunaan bahan pengisi sangat besar dimana pasir halus yang berperan sebagai bahan pengisi ini dengan ukuran maksimum diameter 0,125 ($d_{max} \leq 0{,}125$ mm). Banyak porsi pada penggunaan bahan pengisi ini yaitu 40% dari volume total campuran beton. Porsi bahan pengisi sangat besar sehingga menyebabkan campuran beton berperilaku sebagai pasta. Perbandingan beton SCC dengan beton konvensional dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Perbandingan porsi beton SCC dengan beton konvensional
(Sumber: Okamura dan Ouchi, 2003)

Dari Gambar 3.1, dapat disimpulkan bahwa perbedaan antara campuran beton SCC dengan beton biasa yaitu pada powder terhadap semen (C) dan porsi agregat kasarnya. Beton SCC membutuhkan lebih sedikit agregat kasar, sedangkan powder adalah semen yang dicampur dengan bahan-bahan halus lainnya dengan diameter maksimal 0,125 mm seperti *silica fume* dan *fly ash*. Bahan lain yang digunakan untuk *admixture* yaitu *superlasticizer*. Jumlah pasir (S) dan Air (W) pada kedua jenis beton tersebut tidak ada perbedaan yang banyak bahkan sama.

Menurut (Okamura dkk., 2000), campuran beton untuk mendapatkan tingkat *workability* dan kekuatan awal yang tinggi, perlu diperhatikan persyaratan berikut ini.

1. Agregat kasar jumlahnya kurang lebih 40% dari volume beton.
2. Agregat halus jumlahnya kurang lebih 60% dari campuran beton.

3. *Water–cement ratio* dalam volume beton diperkirakan antara 0.9-1.0, tergantung dari kandungan yang terdapat semen, dan
4. Dosis dari *admixture* yang telah ditetapkan dan penentuan akhir dari *water-powder ratio* untuk meyakinkan akan terjadinya *self compactibility*.

Campuran beton dapat dikatakan beton yang dapat memadat sendiri apabila campuran memenuhi kriteria yang dapat dilihat padahal Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sifat-sifat beton SCC

No	Sifat Beton Segar	Keterangan
1	*Filling ablility*	Kemampuan campuran beton segar untuk mengisi ruangan tanpa alat penggetar
2	*Passing ability*	Kemampuan campuran beton segar untuk melewati tulangan
3	*Segregation resistance*	Campuran beton yang tidak mengalami pemisahan material atau segregasi

(Sumber: Okamura dan Ozawa, 1994)

3.3 Material Penyusun Beton SCC

Material penyusun pada beton SCC dengan campuran abu bahan bakar boiler atau (POFA) dan *superplasticizer* ini sama dengan material penyusun beton pada umumnya. Terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda. Berikut karaterisitik dari setiap bahan yang akan digunakan.

3.3.1 Semen *Portland* (PC)

Semen adalah salah satu bahan penyusun beton, berfungsi sebagai pengikat butir agregat dan sebagai pengisi rongga butir agregat. Umumnya kadar semen dalam campuran beton sebesar ±10% dari volume beton. Berdasarkan perilakunya ketika bereaksi dengan air: semen diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen hidraulis adalah semen yang mengikat ketika dicampur air, sedangkan semen non-hidraulis adalah semen yang dapat mengikat ketika terpapar udara.

Berdasarkan SNI 2049 2015, Semen *Portland* dibagi menjadi lima kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya sebagai berikut.

1. Semen *Portland* tipe I, pada penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti tipe-tipe lainnya.
2. Semen *Portland* tipe II, pada penggunaannya diperlukan untuk ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Semen *Portland* tipe III, pada penggunaannya diperlukan untuk menghasilkan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Semen *Portland* tipe IV, pada penggunaannya diperlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Semen *Portland* tipe V, pada penggunaannya diperlukan untuk ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Secara umum komposisi kimia senyawa-senyawa pada semen ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Unsur Kimia Pembentuk Semen

No	Unsur Kimia dalam Semen	Jumlah (%)
1	Kapur (CaO)	60 – 65
2	Silika (SiO_2)	17 – 25
3	Alumina ($Al2O_3$)	3 – 8
4	Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
5	Magnesium (MgO)	0,5 – 4
6	Sulfur (SO_3)	0,5 – 1
7	Soda/Potash ($Na_2O + K_2O$)	0,5 – 1

(Sumber: Mulyono, 2004)

3.3.2 Agregat halus

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil pecahan alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lolos ayakan no.4. Adapun persyaratan agregat halus sebagai berikut.

1. Agregat halus terdiri dari butiran tajam dan keras, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.

2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan apabila kondisi tersebut terjadi, maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.

Agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo, Kulon Progo. Berikut tahapan pengujian agregat halus.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

   Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis seadanya, berat jenis kering permukaan, berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus.

   a. Berat jenis seadanya (*bulk specific gravity*)

      Berat jenis seadanya adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu.

   b. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*)

      Berat jenis kering permukaan adalah berat agregat kering permukaan dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu.

   c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

      Berat jenis semu adalah berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat pada kondisi suhu tertentu.

   d. Penyerapan air

      Penyerapan air adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen.

   Perhitungan menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4 berikut.

   Berat jenis seadanya $= \frac{Bk}{B + 500 - Bt}$ (3.1)

   Berat jenis SSD $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$ (3.2)

   Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$ (3.3)

   Penyerapan air $= \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$ (3.4)

   Keterangan:

Bk = berat pasir kering mutlak (gr)

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

2. Pengujian berat volume

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat isi padat/gembur agregat halus dengan membandingkan berat agregat dalam keadaan padat/gembur dengan volume silinder. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut ini.

Berat jenis gembur $= \frac{W1}{V}$ (3.5)

Berat jenis padat $= \frac{W2}{V}$ (3.6)

Keterangan:

W1 = berat agregat tanpa dipadatkan (gr)

W2 = berat agregat yang dipadatkan (gr)

V = volume silinder (cm^2)

3. Analisa saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui modulus halus butir. Modulus halus butir adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan dari butir-butir agregat, semakin kecil nilai modulus halus butir, maka semakin kecil butir agregat. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 berikut.

Persentase berat hilang $= \frac{a-b}{a} \times 100\%$ (3.7)

Modulus halus butir $= \frac{\Sigma(\%\, kumulatif)-100}{100}$ (3.8)

Keterangan:

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gr)

b = berat agregat kering mutlak setelah diayak (gr)

Σ (%kumulatif) = berat agregat kering mutlak setelah diayak (gr)

4. Uji lolos saringan No.200

Pengujian ini untuk menentukan banyaknya agregat yang lolos saringan no. 200 butir 0,075 mm dan banyaknya kadar lumpur dalam persen. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \quad (3.9)$$

Keterangan:

W1 = berat agregat sebelum dicuci (gr)

W2 = berat agregat setelah dicuci (gr)

3.3.3 Agregat kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu. Hasil disintegrasi berupa baru pecah mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Menurut SNI 1969-2008 persyaratan agregat kasar sebagai berikut.

1. Agregat kasar terdiri dari butiran-butiran keras dan tidak berpori yang tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Butiran-butiran pipih boleh digunakan dengan syarat tidak melebihi 20% dari berat total.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton seperti alkali.
4. Ukuran maksimum butir agregat kasar tidak boleh melebihi syarat apabila diayak dengan susunan ayakan sebagai berikut.
    a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat.
    b. Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisaran antara 90% dan 98%.
    c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo. Berikut tahapan pengujian agregat kasar.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

    Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis seadanya, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4.
2. Pengujian berat volume

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat isi padat/gembur agregat halus dengan membandingkan berat agregat dalam keadaan padat/gembur dengan volume silinder. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6.

3. Pengujian analisa saringan

   Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui modulus halus butir. Modulus halus butir adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan dari butir-butir agregat, semakin kecil nilai modulus halus butir, maka semakin kecil butir agregat. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8.

4. Pengujian aus agregat

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keausan agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton SCC mutu tinggi. Perhitungan menggunakan persamaan 3.10 berikut

   Nilai keausan = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$ (3.10)

   A = Berat agregat kasar kering oven mula-mula (gr)

   B = Berat agregat yang tertahan saringan no.12 (gr)

3.3.4 Air

Fungsi air pada campuran beton *Self compacting concrete* (SCC) adalah untuk membantu reaksi kimia agar dapat mengikat seluruh material yang ada. Persyaratan air sesuai PBI 1971 dalam Prihantasmi (2007), adalah sebagai berikut

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter.
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

3.4 Bahan-tambah

Bahan-tambah (*admixture*) adalah bahan selain semen, agregat, dan air yang dicampurkan kedalam campuran beton. Tujuan menambahkan bahan-tambah adalah untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari campuran beton. Bahan-tambah

biasanya memakai zat kimia dan bahan mineral. Bahan-tambah terdapat 2 jenis, yaitu bahan-tambah alami dan bahan-tambah kimia. Uraian bahan-tambah alami dan bahan-tambah kimia adalah sebagai berikut.

1. Bahan-tambah alami yang sering digunakan untuk campuran beton terbuat dari mineral. Tujuannya mengurangi penggunaan semen, mengurangi suhu akibat reaksi hidrasi, menambah kelecakan beton segar, atau mengurangi bleeding.
2. Bahan-tambah kimia. Menurut ASTM, terdapat 7 jenis bahan-tambah kimia untuk campuran beton. Uraian jenis bahan-tambah kimia sebagai berikut.
   a. Tipe A, *water-reducing admixtures*, adalah bahan-tambah yang mengurangi pencampur yang diperlukan guna menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Bahan-tambah ini biasa disebut *plasticizer*.
   b. Tipe B, *Retarder*, adalah bahan-tambah guna memperlambat proses pengikatan beton. Bahan ini digunakan apabila dibutuhkan waktu yang cukup lama antara pencampuran beton dengan penuangan adukan atau kondisi penuangan adukan cukup jauh atau mengalami hambatan.
   c. Tipe C, *Accelerator*, yaitu bahan-tambah guna mempercepatkan proses ikatan dan pengerasan beton. Bahan ini digunakan apabila adukan dilakukan di bawah permukaan air, atau pada struktur beton yang memerlukan pengerasan segera.
   d. Tipe D, *Water Reducer Retarder* (WRR), yaitu bahan kimia tambahan guna mengurangi air dan memperlambat proses ikatan. Pengaruh pada beton adalah menghambat *setting time* dan kekuatan tekan.
   e. Tipe E, *water reducer accelerator*, yaitu bahan kimia tambahan guna mengurangi air dan mempecepat proses ikatan. Jika diberi bahan-tambah ini, pengaruh pada beton adalah kekuatan, *setting time, workability*, air *entrainment, bleeding*, panas hidrasi, perubahan volume, dan *durability*.
   f. Tipe F, *high range water reducer*, yaitu bahan-tambah kimia yang digunakan untuk mengurangi kadar air sampai 12% atau lebih. Penggunaan bahan-tambah ini, diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan adukan yang lebih encer dengan faktor air semen sama sehingga

kekuatan beton yang diperoleh lebih tinggi. Contoh bahan-tambah ini adalah *superplasticizer*.

g. Tipe G, *high range water reducer retarder*, bahan-tambah kimia yang berfungsi ganda yaitu mengurangi air dan memperlambat pengikatan dan pengerasan beton. Bahan-tambah ini berupa gabungan *superplasticizer* dengan memperlambat waktu pengikatan beton. Bahan-tambah ini digunakan jika dilakukan pengecoran ditempat yang sangat terbatas

3.4.1 *Superplasticizer Viscocrete 1003*

Penggunaan *superplasticizer* jenis berfungsi untuk mengurangi kadar penggunaan air dalam campuran beton, sehingga mampu menghasilkan beton dengan fas yang lebih rendah, dan kemampuan mengikat sendiri yang baik. Penggunaan *superplasticizer* untuk beton SCC mutu tinggi pada penelitian ini sebesar 1% berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agung, (2024) dan mengikuti ketentuan dari PT. Sika Indonesia yakni penggunaan tidak boleh lebih dari 2% dari berat semen. Sika *Viscocrete* 1003 ini cocok digunakan untuk beton dengan tulangan karena tidak mengandung klorin atau bahan-bahan lain yang dapat menyebabkan karat atau korosif pada tulangan baja. Adapun karakteristik dari Sika *Viscocrete* 1003 ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Karakteristik *Superplasticizer* Sika Viscocrete 1003

Karakteristik	***Viscocrete* 1003**
Tipe	*Aqueous solution of modified polycarboxylate copolymers*
Karakter	Coklat gelap dan berbentuk cairan
Specific gravity	1,065 ± 0,01 kg/ltr
Anjuran dosis	0,6 – 2 % dari berat semen

(Sumber: PT. Sika Indonesia, 2013)

3.4.2 *Palm Oil Fuel Ash* (POFA)

Palm Oil Fuel Ash (POFA) atau abu bahan bakar boiler kelapa sawit adalah bahan-tambah yang dapat ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mengurangi penggunaan semen dan membantu kinerja beton. POFA adalah materi sisa dari hasil pembakaran boiler berupa cangkang, serat, dan tandan kosong yang belum termanfaatkan dengan baik. Abu tersebut berwarna gelap (keabu-abuan) dan memiliki ukuran butir bervariasi dari ukuran pasir hingga kerikil. Abu yang

dihasilkan harus melewati proses pembakaran pada suhu lebih dari 650°C agar abu yang semula hitam karena masih terdapat kandungan karbon mengalami perubahan warna menjadi keabu-abuan yang mengandung kadar silika tinggi.

Komposisi abu didominasi oleh sifat *pozzolanic* seperti SiO_2, $Al2O_3$, $CaCO_3$, $Fe2O_3$, dan lainnya, kandungan tersebut berguna untuk membantu reaksi hidrasi sekunder yang dapat meningkatkan kekuatan beton SCC. Pada dasarnya POFA merupakan bahan *pozzolanic*, yaitu material yang mengikat seperti semen, namun mengandung senyawa silika oksida SiO_2 aktif yang apabila bereaksi dengan kapur bebas atau kalsium hidroksida $Ca + OH_2$ dan air akan membentuk material seperti semen yaitu kalsium silika hidrat, (Ismail dkk., 2010). Adapun gambar dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Gambar 3.2 Palm Oil Fuel Ash (POFA)
(Sumber: Tambichik dkk., 2018)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Debby Endriani, 2012), kandungan unsur kimia yang terdapat dalam POFA dapat dilihat pada Tabel 3.4.

(a). Serat, cangkang, tandan kosong (b). Pembakaran (c). Sisa pembakaran

Gambar 3.3 Pengolahan POFA

POFA dihasilkan dari pembakaran boiler pada suhu 800 °C hingga 1.000 °C untuk menghasilkan energi mekanik dari serat, tandan kosong, dan cangkang sawit. Pembakaran ini menghasilkan abu yang banyak mengandung *pozzolan* yang dapat digunakan.

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Abu Boiler Kelapa Sawit

No	Kandungan	Nilai (%)
1	SiO_2	67,40 %
2	Al_2O_3	10,01 %
3	CaO	1,54 %
4	$Fe2O_3$	0,1 %
5	MgO	3,02 %

(Sumber: Endriyani, 2012)

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton sesuai dengan SNI 03-6468-2000 sebagai acuan untuk perencanaan *mix design* karena di Indonesia sendiri belum ditetapkan peraturan mengenai perencanaan campuran beton SCC mutu tinggi. Peneliti juga menggunakan EFNARC untuk menilai karakteristik dan sebagai acuan proporsi penggunaan bahan material yang sesuai dalam pembuatan beton SCC mutu tinggi. Berikut adalah langkah-langkah pokok perencanaan *mix design* menurut standar ini.

1. Menentukan kuat tekan rencana beton (*f'c*) untuk umur 28 hari.
2. Menentukan kuat tekan beton yang ditargetkan (*f'cr*)

   Kuat tekan beton yang ditargetkan dibuat berdasarkan campuran coba di laboratorium, maka digunanakan Persamaan 3.11 dan 3.12 berikut,

   $$f'cr = \frac{f'c + 9{,}66\ Mpa}{0{,}90} \quad (3.11)$$

   $$f'cr = f'c + 1{,}34 \times s \quad (3.12)$$

   Keterangan:

   f'cr = kuat desak rata-rata yang ditargetkan (MPa),

   f'c = kuat desak rata-rata yang disyaratkan (MPa), dan

   S = deviasi standar.

3. Menentukan nilai *slump*

   Nilai *slump* untuk beton SCC nilai slump dibatasi sesuai peraturan EFNARC.

4. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

   Ukuran agregat kasar maksimum untuk kuat tekan rata rata <62,1 MPa dan >62,1 MPa sebesar 20 – 25 mm dan 10 – 15 mm. Penelitian oleh Dwi Nurdiansyah (2019), penggunaan agregat kasar maskimum 10 mm paling efektif untuk campuran beton *self compacting concrete*, maka ukuran agregat maksimum yang digunakan sebesar 10 mm.

5. Menentukan proporsi agregat kasar maksimum

   Ukuran agregat kasar maksimum yang digunakan sebesar 10 mm, maka fraksi volume agregat kasar optimum sebesar 0,65 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Fraksi Volume Agregat Kasar Optimum

No	Ukuran agregat (mm)	Fraksi volume padat kering
1	10	0,65
2	15	0,68
3	20	0,72
4	25	0,75

(Sumber: SNI 03-6864-2000)

6. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara

   Estimasi pertama kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Estimasi Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar

No	Air pencampur (liter/m3)					Keterangan
	Slump (mm)	Ukuran agregat kasar maksimum (mm)				
		10	15	20	25	
1	25 – 50	184	175	169	166	
2	50 – 70	190	184	175	172	
3	75 – 100	196	190	181	178	
4	Kadar udara (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa *SP*
		2,5	2,0	1,5	1,0	Pakai *SP*

(Sumber: SNI 03-6864-2000)

Perhitungan kadar rongga udara (V) menggunakan Persamaan sebagai 3.13 dan 3.14 berikut,

$$V = \left(1 - \frac{berat\ isi\ padat\ kering\ oven}{berat\ jenis\ relatif\ (oven)}\right) \times 100\% \quad (3.13)$$

Koreksi kadar = (v – 35) × 4,75 (3.14)

Keterangan:

V = kadar rongga udara (%).

Sehingga didapat kebutuhan air total menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

Kebutuhan air total = estimasi kebutuhan air + koreksi (3.15)

7. Menentukan nilai Faktor Air Semen (FAS)

Nilai FAS bisa ditentukan dengan interpolasi berdasarkan kuat desak rerata rencana, umur rencana, dan ukuran butiran agregat kasar maksimum. Jika menggunakan *superplasticizer*, maka nilai FAS akan berbeda karena memengaruhi kadar air yang digunakan. Perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan disebut rasio (w/c). Berikut merupakan nilai rasio (w/c) maksimum yang disarankan untuk campuran beton mutu tinggi dengan *superplasticizer* yang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Rasio (w/c) Disarankan Dengan Campuran *Superplasticizer*

Kekuatan lapangan (*f'cr*) MPa		**Rasio (w/c)**			
		Ukuran agregat kasar maksimum (mm)			
		10	**15**	**20**	**25**
48,3	28 hari	0,5	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,8	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

(Sumber: SNI 03-6864-2000)

8. Menentukan kadar bersifat semen

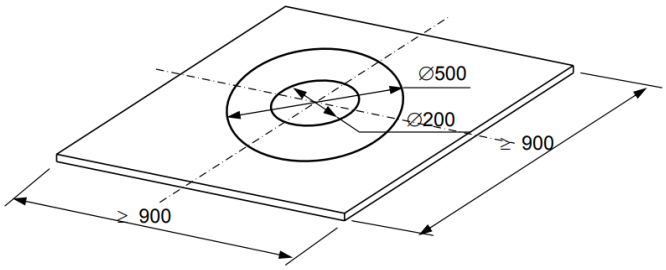
   Kadar bahan bersifat semen per-m^3 beton dapat dihitung dengan membagi kadar air dengan rasio w/(c+p) dapat dilihat pada Persamaan 3.16 berikut,

   Kadar bersifat semen = $\frac{kebutuhan\ air\ total}{rasio\ (w/c)}$ (3.16)

3.6 Pengujian Karakteristik Beton SCC

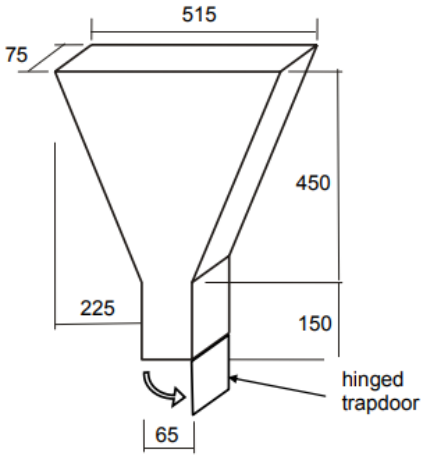
Berdasarkan spesifikasi dari EFNARC, workabilitas atau kelecakan campuran beton segar dapat dikatakan sebagai beton SCC apabila memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. *Filling ability*, adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui beratnya sendiri. Untuk menentukan *filling ability* dari beton SCC digunakan *slump-flow test* dengan menggunakan kerucut abrams dapat diketahui kondisi *workability* beton berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan besaran diameter yaitu antara 650 mm – 800 mm. Alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat Pengujian *Slump-flow*
(Sumber: EFNARC, 2005)

2. *Segregation resistance*, adalah kemampuan beton SCC untuk tetap menjaga keadaan yang homogen selama waktu transportasi sampai pada pengecoran. *V-Funnel test* digunakan untuk mengukur fiskositas beton SCC dan sekaligus mengetahui *segration resistance*. Kemampuan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut diujung bawah alat ukur *V-Funnel* diukur dengan besaran waktu antara 8 – 12 detik. Alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alat Pengujian *V-funnel*
(Sumber: EFNARC, 2005)

The European Federation of National Associations Representing for Concrete (EFNARC, 2005) menetapkan kriteria teknis dari beton SCC yang dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kriteria syarat beton SCC

No	Metode pengujian	*Typical Range of Value*		Satuan
		Minimal	Maksimal	
1	*Slump-flow*	650	800	mm
2	T_{50} *Slump-flow*	2	5	detik
3	*V-funnel*	8	12	detik

(Sumber: EFNARC, 2002)

3.7 Perawatan Beton

Perawatan beton yang digunakan adalah dengan *water curing*. Perawatan ini bertujuan untuk menghambat penguapan air pada adukan beton. Langkah yang dilakukan adalah dengan merencam beton segar di dalam air. Cara lainnya adalah menyelimuti beton dengan plastik untuk menjaga kelembaban, menyelimuti permukaan beton dengan karung goni basah, dan membasahi permukaan beton (Mulyati & Arkis, 2020). Perawatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan cara merendam benda uji pada bak perendam sesuai dengan waktu perencanaan yaitu 28 hari.

3.8 Pengujian Beton

3.8.1 Kuat desak

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian kuat desak beton menggunakan benda uji silinder. Kuat desak mengukur kemampuan dari suatu beton untuk bisa menerima gaya desak persatuan luas. Rumus untuk mendapatkan kuat tekan beton dari hasil pengujian laboratorium dengan sampel beton menggunakan Persamaan 3.17 dari SNI 1974-2011 berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.17}$$

dengan:

f'c = kuat tekan (MPa),

P = beban tekan (N), dan

A = luas penampang benda uji (mm^2)

3.8.2 Kuat tarik belah

Kekuatan tarik belah beton berkisar antara 8-12% dari nilai kuat tekan beton (Kosmatka dkk., 2002). Kuat tarik mengukur ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton. Perhitungan yang digunakan untuk kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Persamaan 3.18 berikut.

$$f'ct = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times L} \tag{3.18}$$

dengan:

f'ct = kuat tarik belah (MPa),

P = beban tekan (N),

d = diameter benda uji silinder (mm), dan

L = panjang benda uji silinder (mm).

3.8.3 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas beton dinyatakan dalam satuan MPa. Menurut ASTM C-469-94, nilai modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.19 berikut.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0{,}00005} \tag{3.19}$$

dengan:

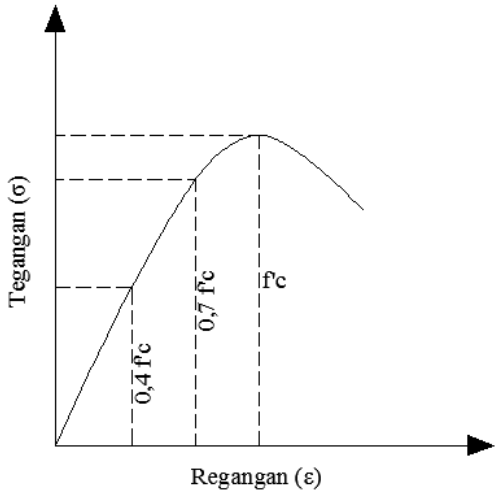
E = modulus elastisitas beton (MPa),

S_2 = tegangan pada saat 40% dari beban *ultimate* (MPa),

S_1 = tegangan pada regangan 0,00005 (MPa), dan

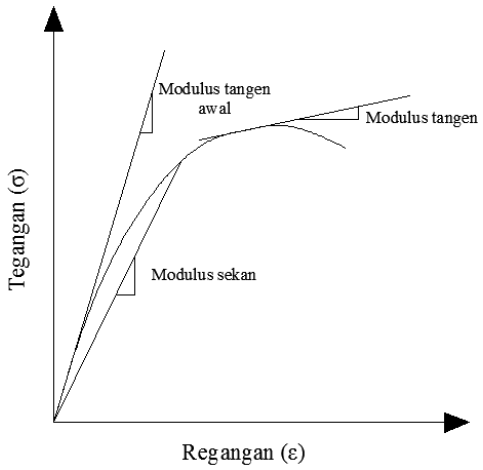
ε_2 = regangan yang terjadi pada S_2.

Menurut Nawy (1990), untuk menentukan turunan persamaan analisis, desain, serta prosedur pada struktur beton harus diketahui hubungan antara tegangan dan regangan beton. Hubungan tersebut dapat dilihat melalui Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik kurva hubungan tegangan regangan beton
(Sumber: Nawy, 1990)

Kurva tegangan dan regangan pada Gambar 3.3 menggambarkan kurva linier pada pembebanan awal dimana modulus elastisitasnya terletak pada garis singgung kurva tegangan regangan dari titik pusat. Garis singgung tersebut didefinisikan sebagai modulus tangen awal. Jika dibuat modulus tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar 0,4 x *f'c* maksimum, maka disebut modulus sekan beton. Modulus sekan merupakan hasil dari modulus elastisitas yang ditinjau. Modulus tangen dan modulus sekan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Modulus sekan dan modulus tangen beton
(Sumber: Nawy, 1990)

Menurut SNI 2847-2019, perhitungan modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan empiris pada Persamaan 3.20 apabila berat beton sudah diketahui.

$$Ec = W_c^{1,5} \times 0{,}043 \times \sqrt{f'c} \tag{3.20}$$

dengan:

Untuk Wc dengan rentang 1400-2560 kg/m^3

Ec = modulus elastisitas beton (MPa),

Wc = berat volume beton normal (kg/m^3), dan

f'c = kuat tekan beton (MPa).

Apabila dalam kondisi berat beton yang belum diketahui maka Persamaan 3.21 dapat digunakan.

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c} \tag{3.21}$$

dengan:

Ec = modulus elastisitas beton (MPa),

f'c = kuat tekan beton (MPa).

Menurut FHWA (2000) dan NBR-6118 (2003) modulus elastisitas juga dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.22 dan 3.23 berikut.

$$Ec = 3837 \times \sqrt{f'c} \quad (3.22)$$

Keterangan:

Ec = modulus elastisitas beton (MPa).

f'c = kuat tekan beton (MPa).

$$Ec = 5600 \times \sqrt{f'c} \quad (3.23)$$

Keterangan:

Ec = modulus elastisitas beton (MPa).

f'c = kuat tekan beton (MPa).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian ini merupakan suatu langkah yang dilakukan oleh peneliti untuk mencari hasil penelitian dan mencari pembahasan dari masalah yang diteliti. Tahapan yang dilakukan sebagai berikut

1. Persiapan material, alat, dan bahan yang digunakan sesuai dengan standar yang berlaku.
2. Proses perencanaan dan pembuatan benda uji serta pengecekan nilai *slump* untuk memastikan perencanaan mencapai telah sesuai.
3. Perawatan benda uji selama 28 hari agar benda uji mencapai kuat tekan yang paling optimal.
4. Pengambilan data atas hasil kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.
5. Pengolahan data dari analisis hasil pengujian dengan menarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

4.2 Lokasi dan Sampel Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Sampel penelitian dengan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dengan mutu beton rencana yang digunakan adalah 45 MPa.

4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan bahan dan peralatan agar dapat melaksanakan dan pengumpulan data. Bahan dan peralatan yang digunakan sebagai berikut.

4.3.1 Bahan penelitian

Bahan penyusun beton yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut

1. Semen *Portland*

   Pada penelitian ini menggunakan Semen PCC merk Semen Gresik dengan berat jenis 3,15 kg/m^3.
2. Air

   Air jernih tidak tercampur dengan material lain berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII.
3. Agregat kasar

   Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo dengan ukuran maksimum 10 mm.
4. Agregat halus

   Agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
5. *Superplasticizer*

   Superplasticizer yang digunakan adalah sika *viscocrate* 1003 berasal dari PT. Sika Indonesia
6. Abu Boiler Kelapa Sawit

   Material yang digunakan dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

4.3.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Timbangan

   Alat untuk mengukur berat dengan kapasitas 20 kg.
2. Ayakan

   Saringan agregat digunakan untuk memisahkan agregat menjadi berbagai ukuran berbeda.
3. Piknometer

   Wadah berbentuk labu untuk pengujian kandungan lumpur agregat halus berkapasitas sebanyak ±100 $mm3$.

4. Cetakan silinder

   Cetakan besi berukuran 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan mencetak sampel benda uji.

5. Oven

   Alat pemanas yang dilengkapi pengatur suhu digunakan untuk memastikan sampel beton sudah dalam kondisi kering dan stabil sebelum dilakukan pengujian.

6. *Compressive Testing Machine* (CTM)

   Alat uji membaca nilai kuat tekan desak maksimal yang dapat diterima bahan uji.

7. *Mixer*

   Mesin pengaduk yang digunakan untuk mencampur bahan-bahan untuk membuat campuran menjadi sampel beton.

8. Gelas ukur

   Alat untuk menakar material cair seperti air dan *superplasticizer*.

9. Kerucut abrams

   Alat uji untuk mengetahui nilai *slump flow* campuran beton segar.

10. *V-funnel*

    Alat uji untuk mengetahui nilai *segregation resistance* campuran beton segar.

4.4 Tahap Persiapan Penelitian

Tahapan persiapan penelitian dilakukan agar penelitian berjalan sesuai dengan standar dan mutu direncanakan dapat optimal.

4.4.1 Persiapan material

Material yang digunakan harus dalam kondisi yang baik agar hasil penelitian yang dihasilkan juga baik. Beberapa material yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah semen *portland*, agregat halus, agregat kasar, POFA, dan *superplasticizer*.

4.4.2 Pengujian material

Sebelum melakukan perencanaan perlu dilakukan pengujian dengan maksud mengetahui karakteristik material dalam campuran beton. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai SNI 1970-2008.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar seusai SNI 1969-2008.
3. Pengujian analisa saringan untuk agregat halus seusai SNI 03-1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan untuk agregat kasar seusai SNI 03-1968-1990.
5. Pengujian berat isi agregat halus sesuai SNI 03-4804-1998.
6. Pengujian berat isi agregat kasar seusai SNI 03-4804-1998.
7. Pengujian lolos saringan no.200 sesuai SNI 03-4142-1996.

4.5 Tahap Penelitian

4.5.1 Pembuatan sampel benda uji

Benda uji yang digunakan berupa silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Mutu beton yang digunakan adalah 45 MPa. Pembuatan sampel benda uji akan dilakukan sesuai dengan SNI 03-6468-2000. Sampel akan dibuat dengan 5 variasi (1 beton kontrol SCC mutu tinggi dengan *superplasticizer* dan 4 beton rencana SCC mutu tinggi dengan bahan pengganti semen menggunakan abu boiler kelapa sawit).

Berdasarkan hal tersebut, jumlah benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jumlah sampel benda uji Beton

Kode Sampel	Zat-tambah		Uji Kuat tekan dan modulus elastisitas	Uji Kuat tarik	Jumlah Benda Uji
	Superplasticizer	**POFA**			
BK-SCC	1%	0%	3	3	6
BV-SCC5%	1%	5%	3	3	6
BV-SCC10%	1%	10%	3	3	6
BV-SCC15%	1%	15%	3	3	6
BV-SCC20%	1%	20%	3	3	6
Total benda uji					30

4.5.2 Perencanaan *trial mix design*

Mix design dilakukan sesuai dengan SNI 03-6468-2000. Beton rencana akan dibuat dengan mutu *f'c* = 45 MPa. Sebelum pembuatan benda uji secara keseluruhan, diperlukan *trial mix design* untuk mengetahui mutu beton yang dihasilkan berdasarkan *mix design* yang telah dibuat sebagai rencana proporsi campuran *final*. *Trial mix design* dilakukan dengan membuat sampel benda uji sebanyak 3 buah. Umur sampel benda uji *trial* adalah 3 atau 7 hari. Sampel benda uji akan diuji kuat tekan kemudian hasilnya akan dikonversi 0.55 atau 0.75 untuk mengetahui kekuatan beton pada umur 28 hari. Jika sudah memenuhi mutu rencana, maka *tiral* dapat dilakukan berhasil.

4.5.3 Pengujian karakteristik beton SCC mutu tinggi

Standar yang akan digunakan mengacu pada EFNARC 2005 sebagai patokan dalam pembuatan beton SCC. Tahapan ini dilakukan saat campuran beton sudah siap untuk dicetak dalam cetakan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *flow ability,* dan *segregation resistance* dari campuran beton yang telah dibuat. Langkah-langkah pengujian dijabarkan sebagai berikut

1. *Slump-Flow*

   Slump-flow merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui penyebaran SCC. Uraian tahapan pengujian *slump-flow* sebagi berikut,

   a. *Slump-flow* diletakan dengan posisi diameter yang kecil diletakan pada bagian dasar papan datar,
   b. Campuran beton dimasukan dalam kerucut abrams sampai penuh dan campuran beton tidak boleh ditumbuk,
   c. Kerucut abrams diangkat secara perlahan dan dihitung,
   d. Diameter maksimum penyebaran yang dicapai aliran dicatat ($SF_{\max}$) yaitu 650-800 cm (EFNARC, 2005)
   e. Waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter diperlukan waktu T_{50} dicatat (SF_{50}), 2-5 detik (EFNARC, 2005).

2. *V-Funnel Test*

V-funnel dipakai untuk mengukur viskositas beton SCC dan sekaligus mengetahui *segregation resistence*. Tahapan pengujian sebagai berikut

a. *V-funnel* disiapkan dalam keadaan datar
b. Campuran beton dituang dalam mulut atas sampai penuh, pastikan kait mulut bawah sudah terkunci,
c. Dibuka kancing kait mulut bawah dan hitung besaran waktu hingga beton habis antara 8 detik sampai maksimal 12 detik.

4.5.4 Perawatan benda uji

Pada tahap ini perawatan beton yang digunakan berupa perendaman benda uji di dalam air sampai mencapai umur rencana. Perendaman dilakukan setelah beton keras dikeluarkan dari cetakan yang telah melalui proses *mixing* dan pengujian nilai *slump*.

4.5.5 Pengujian benda uji

Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Tahapan pengujian sebagai berikut

1. Kuat tekan beton

   Pengujian ini dilakukan pada beton berumur 28 hari setelah proses pencampuran dan perendaman beton dengan tujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan terhadap beton. Tahapannya pengujian sebagai berikut

   a. Persiapkan seluruh benda uji yang akan diuji dan peralatannya,
   b. Ukur benda uji (berat, diameter, dan tinggi) dengan alat ukur,
   c. Gunakan media *caping* pada bagian permukaan benda uji agar permukaannya rata,
   d. Posisikan benda uji berada tepat pada lingkaran tengah hidraulik mesin uji,
   e. Mesin uji berjalan, hidraulik akan menekan benda uji secara perlahan dan dial akan berputar naik,
   f. Setelah beban maksimum, benda uji akan mengalami kerusakan dan catat beban maksimum pada dial dan layar alat uji beban.

2. Kuat tarik belah beton.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik belah dari beton yang telah dibuat. Tahapan pengujian sebagai berikut

a. Persiapkan seluruh benda uji yang akan diuji dan peralatannya,
b. Ukur benda uji (berat, diameter, dan tinggi) dengan alat ukur,
c. Posisikan benda uji berada dengan posisi berbaring dalam mesin uji,
d. Posisikan bantalan agar posisi benda uji tidak berubah,
e. Mesin uji berjalan, hidraulik akan menekan benda uji secara perlahan, dan dial beban akan berputar naik,
f. Setelah benda uji terbelah, dial akan berhenti, catat beban maksimumnya.

3. Modulus elastisitas.

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, dikarenakan kedua pengujian tersebut saling berhubungan. Proses pengambilan data pada pengujian modulus elastistitas dilakukan dengan memasang alat dial pada benda uji yang berguna untuk membaca perpendekan beton pada saat beton itu diberi beban.

4.5.6 Pengolahan data

Pada tahap ini data dari hasil pengujian diolah berdasarkan kode dan landasan teori yang digunakan untuk memperoleh parameter dan nilai yang mempunyai makna.

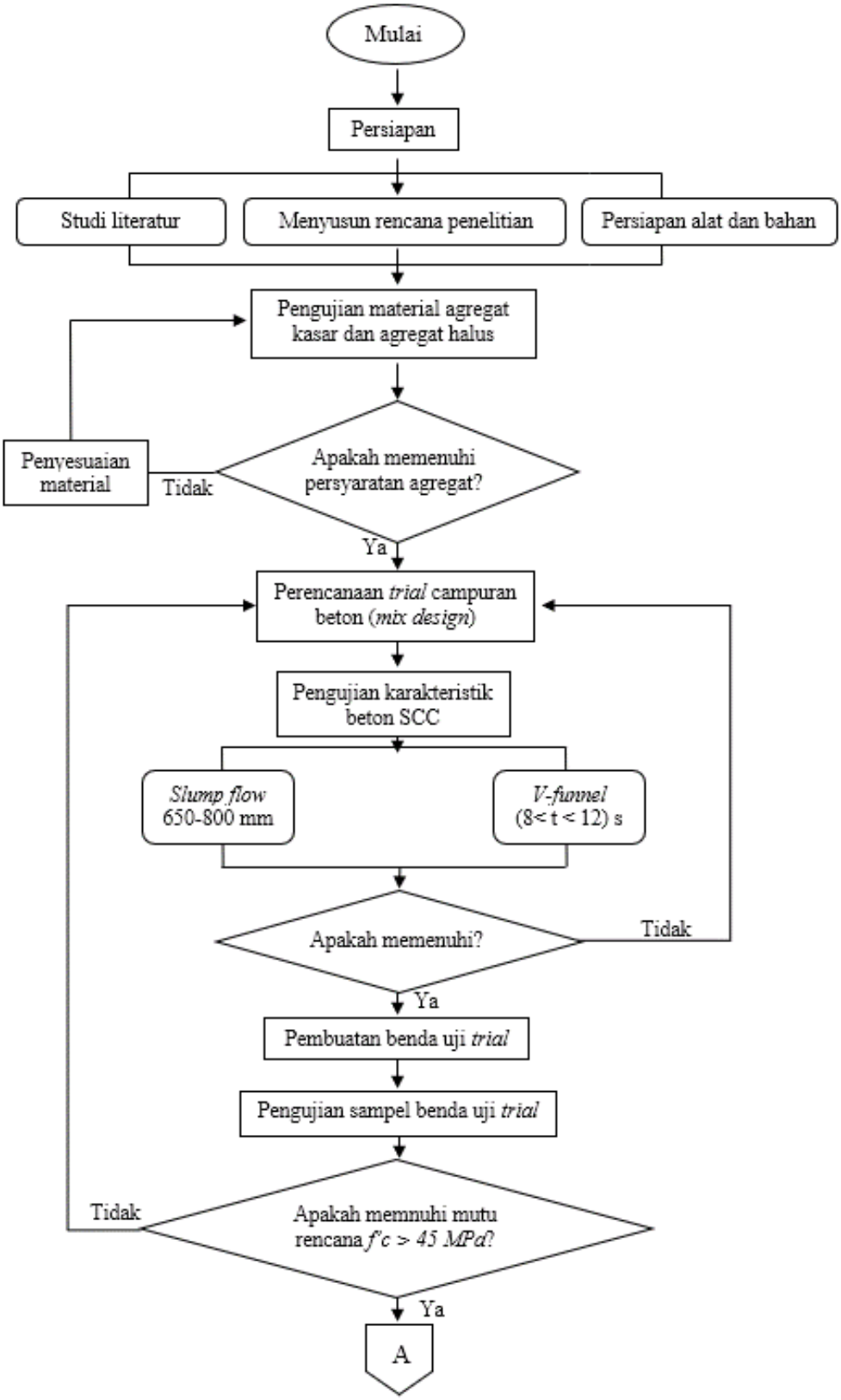
4.5.7 Analisis dan pembahasan

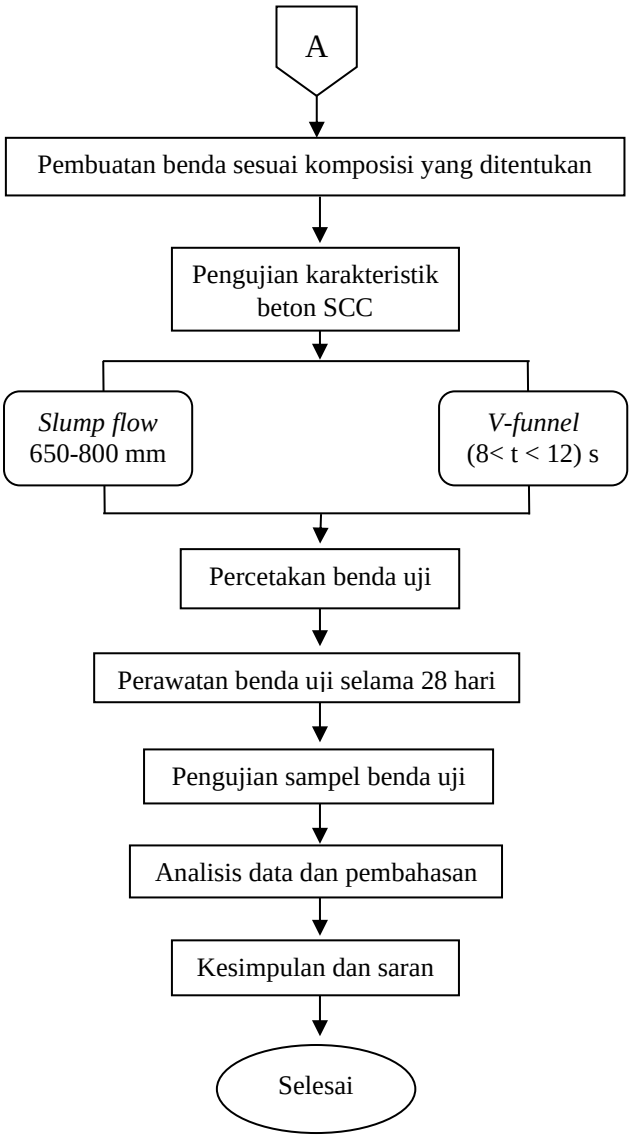
Pada tahap ini parameter yang diperoleh dari hasil olah data dibandingkan atau dikomparasikan berdasarkan kelompok variabel tertentu untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi dan hasil analisis dibahas untuk memberikan jawaban dan penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai yang ditemui pada tahap analisis data.

4.5.8 Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini hasil yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan dibuat kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Pada tahap ini juga dibuat saran untuk penelitan-penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang diperoleh.

4.6 Kerangka Konsep Penelitian





Gambar 4.1 *Flowchart* Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

5.1.1 Agregat halus

Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, dan pengujian lolos saringan no.200. Adapun hasil pengujian agregat halus diatas dapat dilihat sebagai berikut

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapat menggunakan Persamaan 3.1 hingga 3.4. Pengujian dilakukan dengan mengabalisis sebanyak 2 buah sampel. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1.

a. Sampel 1

Berat jenis seadanya $= \frac{488}{666 + 500 - 982} = 2{,}652$

Berat jenis SSD $= \frac{500}{666 + 500 - 982} = 2{,}717$

Berat jenis semu $= \frac{488}{666 + 488 - 982} = 2{,}837$

Penyerapan air $= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% = 2{,}459\ \%$

b. Sampel 2

Berat jenis seadanya $= \frac{488}{669 + 500 - 979} = 2{,}568$

Berat jenis SSD $= \frac{500}{669 + 500 - 979} = 2{,}632$

Berat jenis semu $= \frac{488}{669 + 488 - 979} = 2{,}742$

Penyerapan air $= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% = 2{,}459\ \%$

Data hasil pengujian di atas kemudian dirata-rata untuk mendapatkan hasil akhir pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Pengujiann Berat Jenis dan Penyerapan Air

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	488	488	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	982	979	
Berat piknometer berisi air, gram (B)	666	666	
Berat Jenis Curah	2,652	2,568	2,61
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	2,717	2,632	2,67
Berat Jenis semu	2,837	2,742	2,79
Penyerapan Air %	2,459	2,459	2,46

Dari Tabel 5.1 di atas, didapat rata-rata dari hasil pengujian berat jenis agregat halus senilai 2,67 dan penyerapan air senilai 2,46%. Nilai berat jenis agregat halus berkisar antara 2,4-2,7 gr, maka hasil pengujian berada dalam rentang nilai yang memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton SCC.

2. Pengujian berat volume

Pengujian berat volume dianalisis menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6. Pengujian dilakukan dengan mengambil sebanyak 2 buah sampel. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Berat volume gembur (Sampel 1) $= \frac{7682}{5301.44} = 1{,}449$ gr/cm^3

Berat volume gembur (Sampel 2) $= \frac{7614}{5301.44} = 1{,}436$ gr/cm^3

Berat volume padat (Sampel 1) $= \frac{8752}{5301.44} = 1{,}651$ gr/cm^3

Berat volume padat (Sampel 2) $= \frac{8755}{5301.44} = 1{,}651$ gr/cm^3

Selanjutnya dirata-rata

Berat volume gembur $= \frac{1.449+1.436}{2} = 1{,}443$ gr/cm^3

Berat volume padat $= \frac{1.651+1.651}{2} = 1{,}651$ gr/cm^3

Dari analisis di atas, didapat rata-rata hasil pengujian berat volume gembur agregat halus senilai 1,443 gr/cm^3 dan volume padat senilai 1,651 gr/cm^3. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan 5.3 yang akan digunakan pada desain campuran beton.

Tabel 5.2 Hasil Pengujiann Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	5261	5261	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	12943	12875	
Berat Agregat (W3)	7682	7614	
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,449	1,436	1,443

Tabel 5.3 Hasil Pengujiann Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	5261	5261	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	14016	14013	
Berat Agregat (W3)	8755	8752	
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,651	1,651	1,651

3. Pengujian analisa saringan

Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan dengan menganalisis berat pada masing-masing pan. Hasil analisa pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan 5.5 berikut

Tabel 5.4 Hasil Pengujiann Analisa Saringan Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
10,00	0	0	0	0	100	100
4,80	14	0,70	0,70	99,30	100	90
2,40	141	7,03	7,73	92,27	100	75
1,20	373	18,59	26,32	73,68	90	55
0,60	747	37,24	63,56	36,44	59	35
0,30	479	23,93	87,49	12,51	30	8
0,15	182	9,27	96,76	3,24	10	0
Sisa	62	3,24	100	0	0	0
Jumlah	1998	100				

Tabel 5.5 Hasil Pengujiann Analisa Saringan Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)
10,00	0	0	0	0	100	100
4,80	16	0,80	0,80	99,20	100	90
2,40	202	10,11	10,91	89,09	100	75
1,20	479	23,96	34,87	65,13	90	55
0,60	627	31,37	66,23	33,77	59	35
0,30	453	22,66	88,89	11,11	30	8
0,15	170	8,50	97,40	2,60	10	0
Sisa	52	2,60	100	0	0	0
Jumlah	1998	100				

Dari Tabel 5.4 dan 5.5 di atas didapat nilai presentase berat yang hilang dan nilai modulus kehalusan dengan hasil pengujian dianalisis menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 sebagai berikut

a. Sampel 1

Persentase berat yang hilang $= \frac{2000-1998}{2000} \times 100 = 0{,}1\ \%$

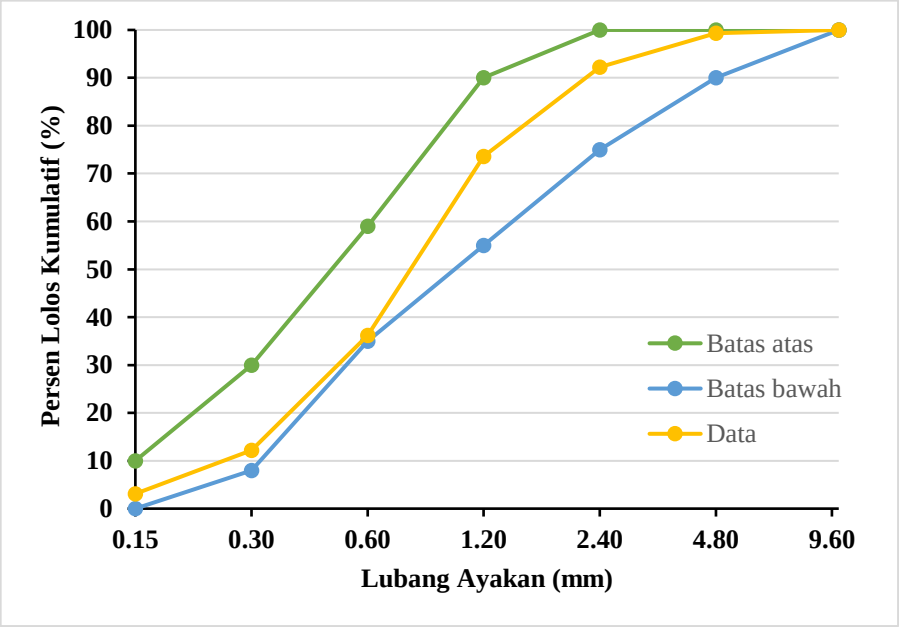
Modulus kehalusan $= \frac{283.38-100}{100} = 2{,}83$

b. Sampel 2

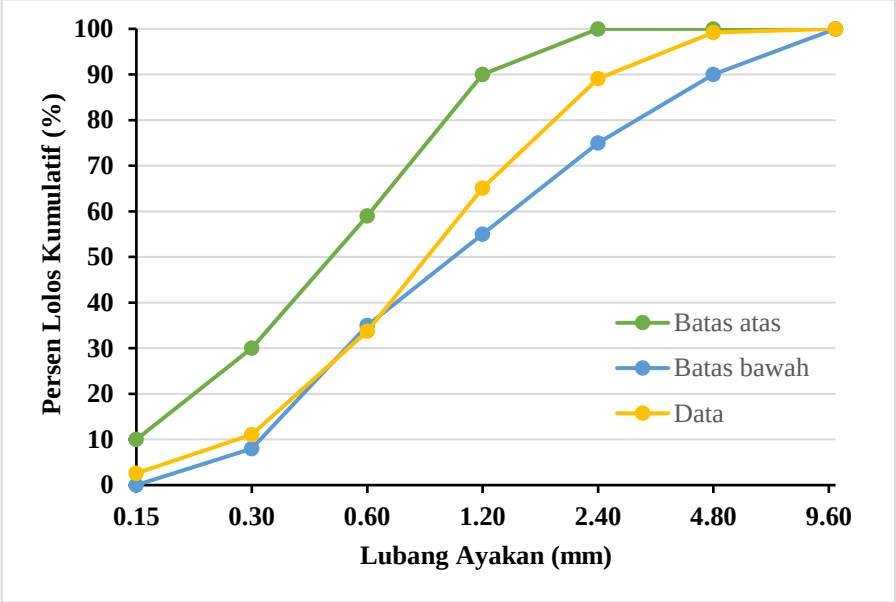
Persentase berat yang hilang $= \frac{2000-1999}{2000} \times 100 = 0{,}1\ \%$

Modulus kehalusan $= \frac{299.09-100}{100} = 2{,}99$

Pada analisis di atas didapat nilai persentase yang hilang sebesar 0,1%<1% dan rata rata modulus kehalusan sebesar 2,91, sehingga sudah memenuhi persyaratan dalam penelitian berdasarkan ASTM C.33-97, nilai modulus kehalusan sebesar 2,3<MK<3,1 dan SNI 03-1750-1990, yaitu berkisar 1,5 – 3,8. Hasil yang diperoleh juga menunjukan agregat yang digunakan masuk dalam spesifikasi gradasi daerah II (pasir agak kasar). Hasil analisis kategori gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 berikut.



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2

4. Pengujian kadar lumpur

Pengujian kadar lumpur dalam agregat halus menggunakan saringan No. 200. Pengujian ini dianalisis menggunakan Persamaan 3.8. Pengujian dilakukan dengan menganalisis 2 sampel. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Kadar lumpur (Sampel 1) $= \frac{500-489}{500} \times 100\% = 2{,}2\%$

Kadar lumpur (Sampel 2) $= \frac{500-487}{500} \times 100\% = 2{,}6\%$

Data dari 2 sampel di atas kemudian dianalisis dan dirata-rata untuk mendapatkan hasil akhir pengujian kadar lumpur dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut

Tabel 5.6 Hasil Pengujiann Kadar Lumpur

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	500	
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2)	489	487	
Berat Lolos Ayakan No.200 (%)	2,2	2,6	2,4

Dari Tabel 5.6 di atas nilai kandungan lumpur didapat yaitu sebesar 2,4%. Menurut SNI 03-6821-2002 kandungan lumpur agregat halus tidak boleh lebih dari 5%, maka hasil pengujian berada dalam batas nilai yang memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton.

5.1.2 Agregat kasar

Pada penelitian ini menggunakan agregat dengan ukuran butir maksimum 10 mm yang berasal dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan agregat, dan pengujian berat volume. Adapun hasil pengujian agregat halus diatas dapat disajikan sebagai berikut

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dianalisis menggunakan Persamaan 3.1 hingga 3.4. Pengujian dilakukan dengan mengambil sebanyak 2 buah sampel. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7.

a. Sampel 1

Berat jenis seadanya $= \frac{4891}{5000 - 3141} = 2{,}63$

Berat jenis SSD $= \frac{5000}{5000 - 3141} = 2{,}69$

Berat jenis semu $= \frac{4891}{4891 - 3141} = 2{,}79$

Penyerapan air $= \frac{5000 - 4891}{4891} \times 100\% = 2{,}23\ \%$

b. Sampel 2

Berat jenis seadanya $= \frac{4888}{5000 - 3152} = 2{,}65$

Berat jenis SSD $= \frac{5000}{5000 - 3152} = 2{,}71$

Berat jenis semu $= \frac{4888}{4888 - 3152} = 2{,}82$

Penyerapan air $= \frac{5000 - 4888}{4888} \times 100\% = 2{,}29\ \%$

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4891	4888	
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	3141	3152	
Berat Jenis Curah,	2,63	2,65	2,64
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD),	2,69	2,71	2,70
Berat Jenis semu,	2,79	2,82	2,81
Penyerapan Air (%)	2,23	2,29	2,26

Dari Tabel 5.7 di atas, didapat rerata dari hasil pengujian berat jenis agregat kasar senilai 2,70 dan penyerapan air senilai 2,26%. Nilai berat jenis agregat halus berkisar antara 2,4-2,7, maka hasil pengujian berada dalam rentang nilai yang memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton.

2. Pengujian berat volume

Pengujian berat volume dianalisis menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6. Pengujian dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 2 (dua) buah. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan 5.9.

Berat volume gembur (Sampel 1) $= \frac{7511}{5301,44} = 1,417$ gr/cm^3

Berat volume gembur (Sampel 2) $= \frac{7472}{5301,44} = 1,409$ gr/cm^3

Berat volume padat (Sampel 1) $= \frac{8121}{5301,44} = 1,532$ gr/cm^3

Berat volume padat (Sampel 2) $= \frac{8139}{5301,44} = 1,535$ gr/cm^3

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	8910	8910	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	16421	16382	
Berat Agregat (W3)	7511	7472	
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,417	1,409	1,413

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	8910	8910	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17031	14049	
Berat Agregat (W3)	8120	8139	
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,532	1,535	1,534

Dari Tabel 5.8 dan 5.9 di atas, didapat rata-rata hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar senilai 1,413 gr/cm^3 dan volume padat senilai 1,534 gr/cm^3. Hasil tersebut akan digunakan pada desain campuran beton.

3. Pengujian analisa saringan

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilakukan dengan menganalisis berat agregat pada masing-masing pan. Hasil pengujian dianalisis dengan Persamaan 3.7 dan 3.8. Hasil analisa pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan 5.11

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10,00	2201	44,02	44,03	55,97
4,80	2375	47,51	91,53	8,46
2,40	364	7,28	98,82	1,18
1,20	21	0,42	99,24	0,76
0,60	-	-	99,24	0,76
0,30	-	-	99,24	0,76
0,15	-	-	99,24	0,76
Sisa	38	0,76	100	-
Jumlah	4999	100		

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10,00	2331	44,65	46,65	53,35
4,80	2345	46,93	93,58	6,42
2,40	264	5,28	98,86	1,14
1,20	35	0,70	99,56	0,44
0,60	-	-	99,56	0,44
0,30	-	-	99,56	0,44
0,15	-	-	99,56	0,44
Sisa	22	0,44	100	-
Jumlah	4997	100		

Dari Tabel 5.10 dan 5.11 di atas didapat nilai presentase berat yang hilang dan nilai modulus kehalusan dengan hasil pengujian dianalisis menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8 sebagai berikut.

a. Sampel 1

Persentase berat yang hilang $= \frac{5000-4999}{5000} \times 100 = 0{,}02\%$

Modulus kehalusan $= \frac{631{,}35-100}{100} = 6{,}31$

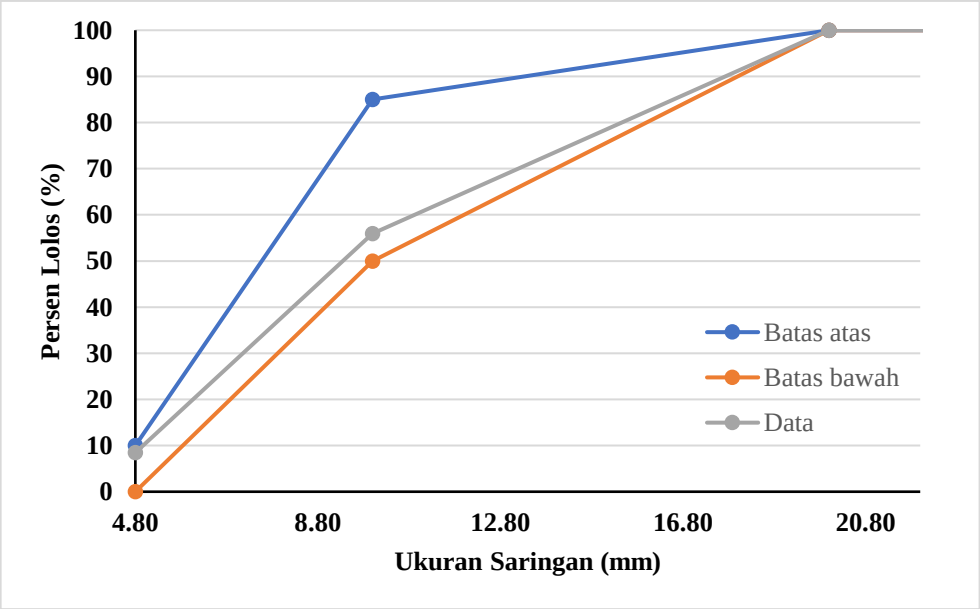
b. Sampel 2

Persentase berat yang hilang $= \frac{5000-4997}{5000} \times 100 = 0{,}06\%$

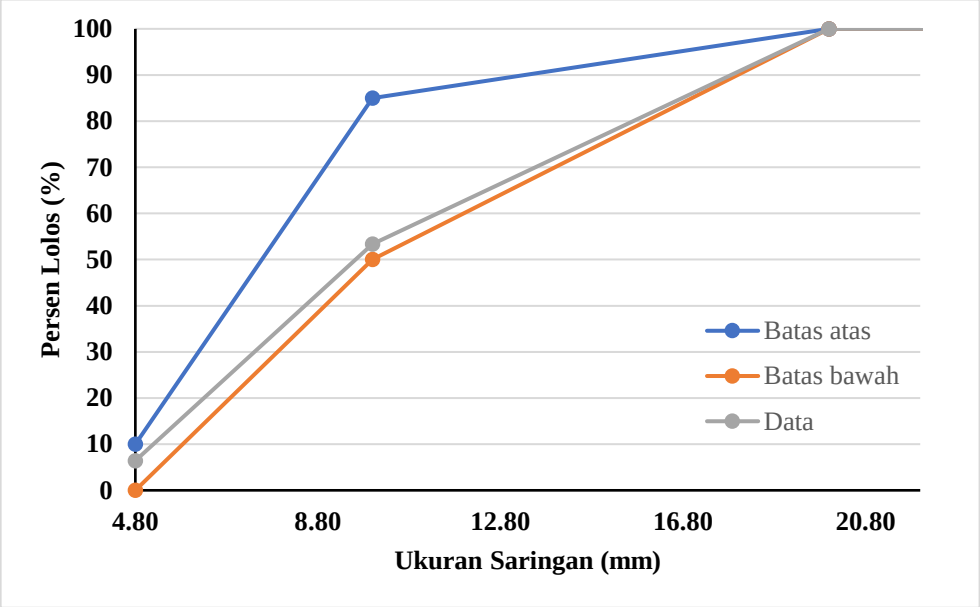
Modulus kehalusan $= \frac{637{,}32-100}{100} = 6{,}37$

Rerata $= \frac{6.31+6.37}{2} = 6{,}34$

Pada analisis di atas didapat nilai persentase yang hilang sebesar 0,1%<1% dan rata-rata modulus kehalusan sebesar 6,34, sehingga sudah memenuhi persyaratan dalam penelitian berdasarkan ASTM C.33-97, nilai modulus kehalusan sebesar 2,3<MK<3,1 dan SNI 03-2461-2002 dan 03-1968-1990, yaitu berkisar 3,7 – 7, maka nilai yang diperoleh juga menunjukan agregat yang digunakan masuk dalam persyaratan sebagai material campuran beton. Hasil analisis kategori gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4 berikut.



Gambar 5.3 Gradasi Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5.4 Gradasi Agregat Kasar Sampel 2

4. Pengujian abrasi/keausan agregat dengan mesin Los Angeles.

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 (1,18 mm) terhadap berat semula dalam persen. Hasil analisa dan perhitungannya menggunakan Persamaan 3.10.

Berat agregat kasar kering oven mula-mula (a) = 5000 gr

Berat agregat yang tertahan saringan no. 12 (b) = 3912,3 gr

Nilai keausan = $\frac{5000-3912.3}{5000} \times 100\% = 22\%$

Menurut SNI 03-2417-1991, nilai keausan agregat kasar tidak boleh lebih besar dari 40%, maka dalam penelitian ini diperoleh nilai keausan sebesar 22%, sudah memenuhi persyaratan dari 40%, sehingga agregat kasar ini baik dipakai untuk material beton.

5.1.3 Abu boiler kelapa sawit

1. Pengujian berat jenis abu

Abu boiler asli dikumpulkan dari pabrik kelapa sawit lokal. Abu boiler kering kemudian diayak dengan menggunakan ukuran 200 saringan untuk menghilangkan partikel berukuran lebih besar. Karena ukuran Abu boiler yang lebih kecil memiliki reaktivitas yang lebih baik. Sifat fisik dan komposisi kimia partikel abu ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Perbandingan Kesetaraan Unsur-unsur Kimiawi antara PC dan Abu boiler (POFA) dalam (%)

No	Komposisi	PC	Abu
1	Silicon oksida (SiO2)	17.6	59.17
2	Aluminium oksida (Al2HAI3)	4.02	3.73
3	Besi oksida (Fe2HAI3)	4.47	6.33
4	Kalsium oksida (CaO)	67.43	5.8
5	Magnesium oksida (MgO)	1.33	4.87
6	Natrium oksida (Na2O)	0.03	0.18
7	Kalium oksida (K2O)	0.39	8.25
8	Belerang trioksida (SO3)	4.18	0.72
9	SiO2+ Al2HAI3+ Fe2HAI3	-	69.23
10	LOI	2.4	16.1

(Sumber: Alsubari et.al, 2014)

Metode ini dilakukan untuk menilai karakteristik fisik limbah sawit sebagai bahan pengganti sebagian semen. Informasi hasil pengujian tersebut akan membantu dalam mengevaluasi potensi limbah sawit untuk digunakan dalam campuran beton atau konstruksi, serta memahami sejauh mana limbah sawit dapat memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Hasil pengujian berat jenis sebesar 2,22.

2. Perbandingan kesetaraan berat abu terhadap berat semen

Untuk menghitung berat abu yang diperlukan agar memiliki berat volume yang sama dengan semen sebagai berikut

Jika diasumsikan berat semen 10 kg dengan berat jenis 3.15 maka,

Berat semen $= \frac{10\ kg}{3.15} = 3.17$ kg

Berat abu $= \frac{10\ kg}{2,22} = 4,50$ kg

Kaarena volume abu sama dengan volume semen maka,

Berat abu $= 3.17 \times 4.50 = 14,27\ kg$

Jadi berat abu dengan berat jenis sebesar 2,22 memiliki volume yang sama dengan 10 kg semen dengan berat jenis 3.15 adalah sebesar 14,27 kg. Hasil tersebut dapat disimpulkan untuk berat semen 10 kg dapat menghasilkan berat

abu sebesar 14,27 kg dengan berat jenis yang sama. Hasil nilai pengujian tesebut tidak semata-mata mutlak dikarenakan penggunakan abu yang sudah menjadi limbah pabrik dan sudah tercampur dengan abu lama dan abu baru sehingga mengakibatkan berat jenis berbeda. Hasil dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Perbandingan Kesetaraan Berat PC dengan Berat Abu dalam Campuran Beton

Berat semen	Berat abu
10 kg	14,27 kg

5.2 Perencanaan Campuran Beton

Desain campuran beton mutu tinggi penting dilakukan dengan cermat dengan tujuan menghasilkan beton agar sesuai dengan desain dan kekuatan rencana yang ditargetkan. Proses desain campuran beton akan menentukan kebutuhan masing-masing material yang digunakan. Desain campuran beton mutu tinggi dilakukan berdasarkan metode SNI 03-6468-2000. Langkah-langkah desain campuran beton mutu tinggi dapat dilihat sebagai berikut.

1. Data awal *mix design*

   Dalam penelitian ini digunakan kuat tekan beton rencana = *f'c* f 45 MPa. Syarat kuat tekan beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000 adalah 41,4 MPa pada umur 28 hari. Agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo dengan karakteristik berikut:

   a. modulus halus butir = 2,91
   b. berat jenis SSD = 2,67
   c. penyerapan air = 2,26 %
   d. berat volume = 1,651 gr/cm^3

   Sedangkan untuk agregat kasar, digunakan batu pecah berukuran maksimal 10 mm yang berasal dari Celereng, Kulon Progo. Karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut:

a. modulus halus butir = 6,34
b. berat jenis SSD = 2,70
c. penyerapan air = 2,46%
d. berat volume = 1,534 gr/cm^3

Semen *portland* yang digunakan adalah semen *portland* tipe II bermerek Semen Gresik dengan berat jenis 3,15. Bahan pengganti yang digunakan adalah abu boiler kelapa sawit dengan berat jenis 2,22, dan *superplasticizer* berjenis Viscocrete 1003 dari PT. Sika Indonesia

2. Menentukan slump awal

Slump awal bertujuan untuk pedoman komposisi awal. Analisiskuat tekan rencana beton (*f'c*) ditetapkan setelah taget slump ditentukan. Kuat tekan beton yang ditargetkan dibuat berdasarkan Persamaan 3.11, maka digunanakn perhitungan berikut,

Target slump = 50 – 75

$$f'cr = \frac{45\ Mpa + 9{,}66\ Mpa}{0{,}90}$$

$$f'cr = 60{,}73\ Mpa$$

3. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Ukuran agregat kasar maksimum untuk kuat tekan rata rata <62,1 MPa yang diperbolehkan adalah sebesar 20 – 25 mm, namun dipilih ukuran agregat maksimum yang digunakan sebesar 10 mm untuk beton SCC.

4. Menentukan proporsi agregat kasar maksimum

Ukuran agregat kasar maksimum yang digunakan sebesar 10 mm, maka fraksi volume agregat kasar optimum sebesar 0,65 dapat dilihat pada Tabel 3.2. setelah itu mencari kadar agregat kasar padat kering oven.

Kadar agregat kasar = $0{,}65 \times 1534 = 997{,}10\ \mathrm{kg/m3}$

5. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara

Estimasi pertama kebutuhan air didapat nilai rencana kebutuhan air sebesar 190 liter/m^3 dan kadar udara sebesar 2,5%. Kemudian perhitungan kadar rongga udara (V) menggunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut,

$$V = \left(1 - \frac{1651}{2{,}67 \times 1000}\right) \times 100\% = 38{,}16\ \%$$

Selanjutnya mencati nilai koreksi kadar udara menggunakan Persamaan 3.14.

Koreksi = (38,16 – 35) × 4,75 = 15 liter/m^3

Berdasarkan nilai koreksi diatas dapat menetukan kebutuhan air total menggunakan Persamaan 3.15.

Kebutuhan air = 190 + 15 = 205 liter/m^3

6. Menentukan rasio w/(c+p)

Kuat tekan ditargetkan (*f'cr*) = 60,73 MPa,

f'cr lapangan = 0,9 x 60,73 = 54,66 MPa,

Setelah diperoleh nilai *f'cr* lapangan rasio w/(c+p) dengan *superplasticizer* untuk agregat kasar maksimum 10 mm dapat dilihat pada Tabel 3.4. maka nilai perhitungan w/(c+p) didapat dengan interpolasi sebagai berikut,

$X = 54{,}66\ Mpa$

$X1 = 48{,}3\ Mpa$

$X2 = 55{,}2\ Mpa$

$Y1 = 0{,}5$

$Y2 = 0{,}44$

$$Y = Y1 + \frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} \times (Y2 - Y1)$$

$$Y = 0{,}5 + \frac{(54{,}66 - 48{,}3)}{(55{,}2 - 48{,}3)} \times (0{,}44 - 0{,}5)$$

Y = 0,4447

Nilai faktor air semen didapatkan adalah 0,4447. Nilai ini kemudian digunakan sebagai acuan untuk membuat sampel beton *trial*. Berdasarkan hasil *trial* pembuatan sampel benda uji dengan faktor air semen 0,4447, kuat tekan rencana pada umur 3 hari tidak tercapai. Untuk meningkatkan kuat tekan beton, kadar air dikurangi. Semakin berkurang kadar air, maka nilai faktor air semen akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut, dibuat sampel *trial* dengan nilai faktor air semen yang lebih kecil hingga memenuhi kuat tekan rencana. Nilai faktor air semen yang memenuhi kuat tekan rencana

berdasarkan sampel beton *trial* adalah 0,37. Karena untuk SCC sendiri belum ada acuan perencanaan campuran beton, sehingga SNI-6468-2000 digunakan sebagai alternatif perencanaan campuran.

Rasio w/(c+p) = 0,37

7. Menentukan kadar bersifat semen

   Kadar bahan bersifat semen per-m3 beton dapat dihitung dengan membagi kadar air dengan rasio w/(c+p) sebagai berikut,

   Kadar bersifat semen = $\frac{205}{0,37}$ = 554,142 kg/m^3

   Untuk mendapatkan jumlah semen, dilakukan pembagian antara kadar bahan bersifat semen dengan massa jenis semen = 3,15 kg/m3.

   Semen *portland* = $\frac{554,142}{3,15} = 175,92$ liter/m^3

8. Menentukan proporsi campuran per-m^3 didapat sebagai berikut,

   Semen *portland* = 175,92 liter/m^3

   Agregat kasar = $\frac{997,10}{2,7} = 369,30$ liter/m^3

   Air = 205 liter/m^3

   Udara = 25 liter/m^3

   Total kebutuhan volume = 1000- 775,25 = 224,75 liter/m^3

   Dikonversi menjadi berat pasir kering oven

   224,75 × 2,67 = 600,10 kg/m^3

   Sehingga hasil perencanaan didapatkan proporsi campuran beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000 per-m3 sebagai berikut

   a) Semen = 555 kg/m^3
   b) Agregat kasar = 998 kg/m^3
   c) Agregat halus = 601 kg/m^3
   d) Air = 205 liter

Penggunaan air disesuaikan berdasarkan hasil *trial mix design* yaitu sebesar 190 liter. Berdasarkan (EFNARC, 2005) penggunaan air dibatasi jumlahnya tidak boleh melebihi 200 liter.

5.2.1 Komposisi campuran beton SCC mutu tinggi

Pada penelitian ini, dilakukan *trial* sebelum menentukan komposisi yang akan digunakan pada campuran beton SCC. Peneliti melakukan 4 kali *trial* sebelum mendapatkan hasil campuran beton SCC yang mencapai mutu 45 MPa. Proses pembuatan beton SCC pada *trial* 1 digunakan faktor air semen sebanyak 0,4447 dengan persentase *superplasticsizer* 1% namun mutu beton masih jauh di bawah mutu rencana. Percobaan pembuatan beton SCC *trial* 2 pengurangan faktor air semen hingga mencapai 0,4 dan penggunaan *superplasticsizer* 1%. Mutu beton SCC sudah baik namun belum mendekati mutu rencana. Pembuatan beton SCC pada *trial* 3 digunakan faktor air semen sebesar 0,38 dan superplasticsizer 1%. Pengujian *trial* 3 menunjukan mutu beton SCC sudah mendekati mutu rencana. Pada *trial* 4 digunakan faktor air semen sebesar 0,37 dan superplasticsizer 1%. Pengujian *trial* 4 menunjukan mutu beton SCC sudah mencapai mutu rencana yaitu 45 MPa. Semakin sedikit faktor air semen, jumlah semen yang digunakan akan bertambah.

Dalam penelitian ini, dibuat beton kontrol (dengan penambahan *superplasticizer*) dan beton variasi menggunakan filler abu boiler sebagai pengganti sebagian semen. Kadar abu boiler yang digunakan adalah sebesar 0% (beton kontrol SCC mutu tinggi), 5% (variasi 1), 10% (variasi 2), 15% (variasi 3), dan 20% (variasi 4). Perhitungan kadar abu boiler yang digunakan diambil berdasarkan berat semen. *Superplasticizer* digunakan sebanyak 1% dari berat semen. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5.14 Hasil Mix Desain Campuran Beton SCC Mutu Tinggi (m^3)

Kode Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Abu boiler (POFA)		*Superplasticizer*	
					Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
BK-SCC	554,14	600,09	997,10	190,00	0,000	0	5.541	1
BV-SCC5%	526,44	600,09	997,10	190,00	22.707	5	5.541	1
BV-SCC10%	498,73	600,09	997,10	190,00	55.414	10	5.541	1
BV-SCC15%	471,02	600,09	997,10	190,00	83,121	15	5.541	1
BV-SCC20%	443,31	600,09	997,10	190,00	110.829	20	5.541	1

5.3 Hasil Pengujian Sampel Beton *Trial*

Pada penelitian ini, dibuat sampel beton *trial* sebagai percobaan hasil *mix design* yang telah dibuat. Tujuan dari sampel *trial* adalah mengetahui hasil mutu beton sesuai dengan komposisi *mix design* yang telah dibuat. Umur beton untuk sampel *trial* adalah 3 hari. Berdasarkan hasil kuat tekan beton *trial* pada umur 3 hari tersebut, dapat diperkirakan mutu beton pada umur 28 hari. Hasil pengujian sampel beton *trial* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Sampel Beton *Trial*

Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Faktor Konversi	Kuat Tekan Umur 28 hari (MPa)
TS1	460	25,8	0,55	46,95
TS2	445	25,2	0,55	45,78
TS3	475	26,6	0,55	48,41

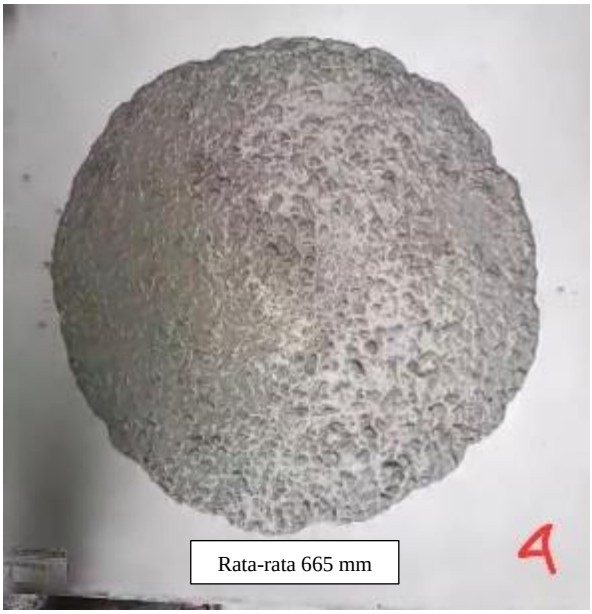
Pada Tabel 5.15 tersebut, digunakan faktor konversi sebesar 0,55 sesuai dengan PBI 1971 untuk beton dengan kekuatan awal tinggi. Nilai konversi ini kurang relevan jika digunakan untuk beton SCC. Namun, belum ada penelitian lain yang bisa digunakan sebagai acuan nilai konversi, sehingga digunakan nilai konversi 0,55 sebagai acuan. Perkiraan umur beton pada umur 28 hari diperoleh rata-rata sebesar 47,05 MPa. Nilai ini sudah dalam kategori beton mutu tinggi melebihi nilai kuat tekan rencana, yaitu 45 MPa. Hasil pengujian *slump-flow* pada

beton *trial* hingga mencapat mutu beton rencana dapat dilihat pada Gambar 5.5 hingga Gambar 5.8 berikut.

Gambar 5.5 Pengujian *Slump-flow Trial* 1

Gambar 5.6 Pengujian *Slump-flow Trial* 2

Gambar 5.7 Pengujian *Slump-flow Trial* 3



Gambar 5.8 Pengujian *Slump-flow Trial* 4

5.4 Hasil Pengujian Beton SCC

5.4.1 *Slump*

Sesuai dengan *mix design* nilai slump yang direncanakan sebesar 50-75 cm. Hasil pengujian slump untuk material beton SCC dilakukan dengan 2 metode yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. *Slump-flow*

   Slump-flow merupakan pengujian campuran beton yang sudah diaduk merata dan belum dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Pengujian *slump-flow* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat *filling abillity* campuran material SCC, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.9.

Gambar 5.9 Pengujian *Slump-flow* SCC

Dari Gambar 5.10 dapat dilihat tingkat *workabillity* SCC mutu tinggi dengan menggunakan zat-tambah *superplasticizer*, Hasil pengujian *slump-flow* pada penelitian SCC mutu tinggi dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian *Slump-flow*

No	Benda Uji	Nilai *Slump-flow* (mm)	T_{50} (detik)	Keterangan (SF2)
1.	BK-SCC	673	3,52	Memenuhi
3.	BV-SCC5%	653	3,63	Memenuhi
4.	BV-SCC10%	665	3,88	Memenuhi
5.	BV-SCC15%	641	4,30	Tidak
6.	BV-SCC20%	592	6,19	Tidak

Hasil pengujian *slump-flow* pada campuran material SCC mutu tinggi dari Tabel 5.16 untuk nilai BV-SCC 15% dan BV-SCC20% tidak termasuk kedalam persyaratan EFNARC sebesar 650 mm. Hasil pengujian slump dapat dilihat bahwa campuran yang mengandung POFA pada beton tidak menimbulkan efek buruk yang parah terhadap kemampuan alir dan ketahanan segregasi. Semakin tinggi kandungan POFA menunjukkan semakin rendahnya *slump-flow*. Hal ini dapat disebabkan oleh porositas partikel POFA dan kemampuan daya serap air lebih banyak dibandingkan PC, sehingga mengurangi kandungan air bebas yang diperlukan untuk kemampuan kerja (Alsubari dkk., 2014).

2. *V-funnel*

V-funnel digunakan untuk mengukur kekentalan dan daya alir beton SCC sekaligus mengetahui *segregation resistence*. Kemampuan beton segar untuk segera mengalir diukur dengan besaran waktu antara 8 – 12 detik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian *V-funnel*

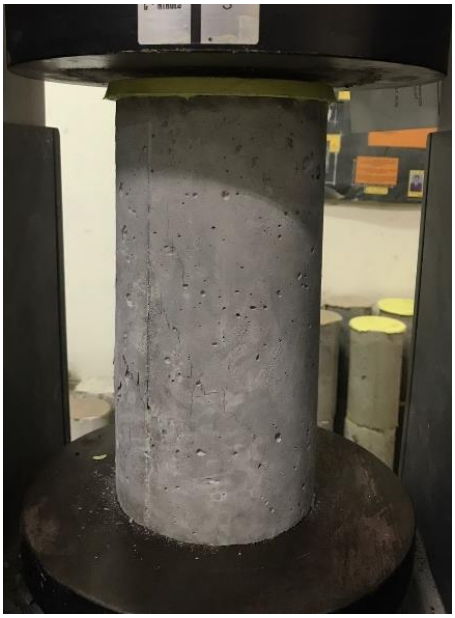
No	Benda Uji	Nilai *V-funnel* (detik)
1.	BK-SCC	8.43
3.	BV-SCC5%	8,12
4.	BV-SCC10%	8,03
5.	BV-SCC15%	8,64
6.	BV-SCC20%	9,32

Pada pengujian *v-funnel* pada campuran dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi beton SCC mutu tinggi telah memenuhi persyaratan EFNARC 2005. Artinya beton SCC dalam penelitian ini tidak mengalami segregasi.

Gambar 5.10 Pengujian *V-Funnel* SCC

5.4.2 Kuat desak beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan untuk menentukan kemampuan beton tersebut dalam memikul beban yang bekerja di atasnya. Faktor yang memengaruhi kuat tekan beton antara lain yaitu jenis semen, kualitas penyusun beton, dan kelengkapan alat dalam pengerjaan. Penelitian yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Pengujian Kuat Desak Beton

Pada kuat tekan untuk beton dilakukan pengujian pada umur 28 hari untuk mencari nilai kuat tekan beton SCC mutu tinggi. Setelah melakukan pengujian desak beton menggunakan alat mesin CTM, maka selanjutnya menganalisis data kuat tekan beton. Menganalisis data tersebut mengambil contoh sampel hasil perhitungan kuat tekan beton mutu tinggi dengan kode BK-SCC pada umur 28 hari menggunakan Persamaan 3.17 berikut ini.

Kuat tekan beton dengan kode BK-SCC

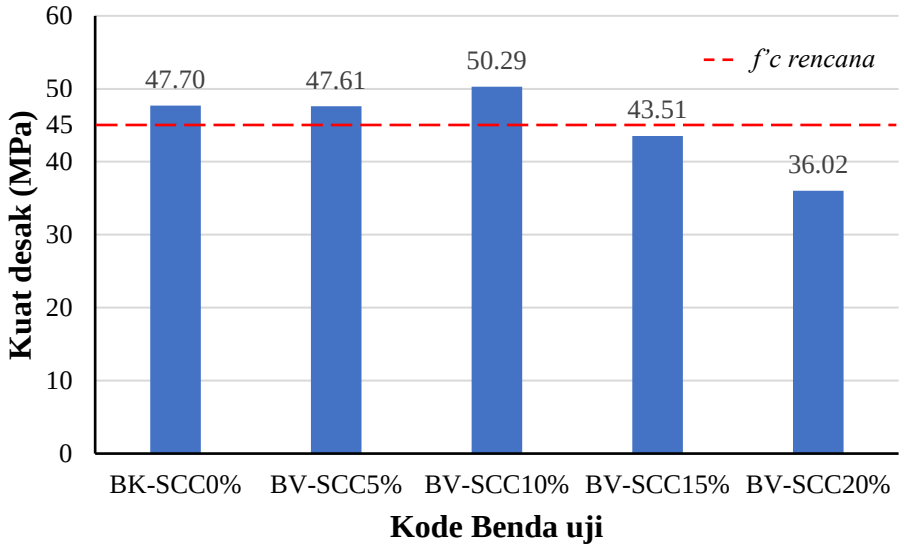
P = 870 kN = 870000 N

Diameter = 150,60 mm

luas = $0.25 \times \pi \times 150{,}60^2 = 17813{,}11$ mm^2

$f'c$ = $\frac{870000}{17813{,}11} = 48{,}84$ MPa > $f'c$ rencana

Hasil lengkap pengujian beton dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Lampiran 5.



Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Dari Gambar 5.13 nilai kuat desak beton kontrol mencapai 47,70 MPa dimana nilai tersebut sudah melebihi kuat desak rencana awal sebesar 45 MPa. Pada kuat desak beton variasi memiliki nilai optimum terjadi pada kode sampel BV-SCC10% sebesar 50,29 MPa dengan campuran abu boiler kelapa sawit atau POFA sebesar 10%. Pada kode sampel BV-SCC20% menjadi nilai kuat desak terendah sebesar 36,02 MPa dengan campuran abu bahan bakar boiler kelapa sawit atau POFA sebesar 20%. Terjadi penurunan sebesar 39,6% dari sampel BV-SCC10%. Seiring bertambahnya persentase penggunaan abu memengaruhi kuat tekan dikarenakan pada abu boiler kelapa sawit memiliki sifat menyerap air yang tinggi sehingga semakin tinggi persentase penggunaan abu boiler kelapa sawit dapat memengaruhi kualitas karakteristik beton yaitu menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton (Tangchirapat dkk., 2009).

Penurunan kuat desak terjadi karena pengurangan jumlah kandungan semen pada campuran. Namun, Penggunaan material abu boiler kelapa sawit atau POFA 10% menghasilkan kuat tekan lebih tinggi pada beton kontrol SCC mutu tinggi. Peningkatan kuat tekan tersebut dikarenakan raksi antara *pozzolan* dan CaOH dari hidrasi semen dan air dan membentuk kalsium silikat hidrat yang mempunyai sifat isolasi yang baik pada campuran. Reaksi *pozzolan* berkontribusi terhadap

peningkatan kekuatan pada umur beton dengan meningkatkan ikatan antar pasta dan agregat, (Ismail dkk., 2010) dan (Sata dkk., 2004). Pengaruh material abu sebesar 10% sebagai bahan pengganti masih dalam kategori baik. Penggunaan abu sebesar 15% yang menyebabkan terjadinya penggumpalan partikel pada campuran beton dengan jumlah abu boiler yang tinggi dapat dilihat pada campuran 20% terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan.

5.4.3 Tarik belah

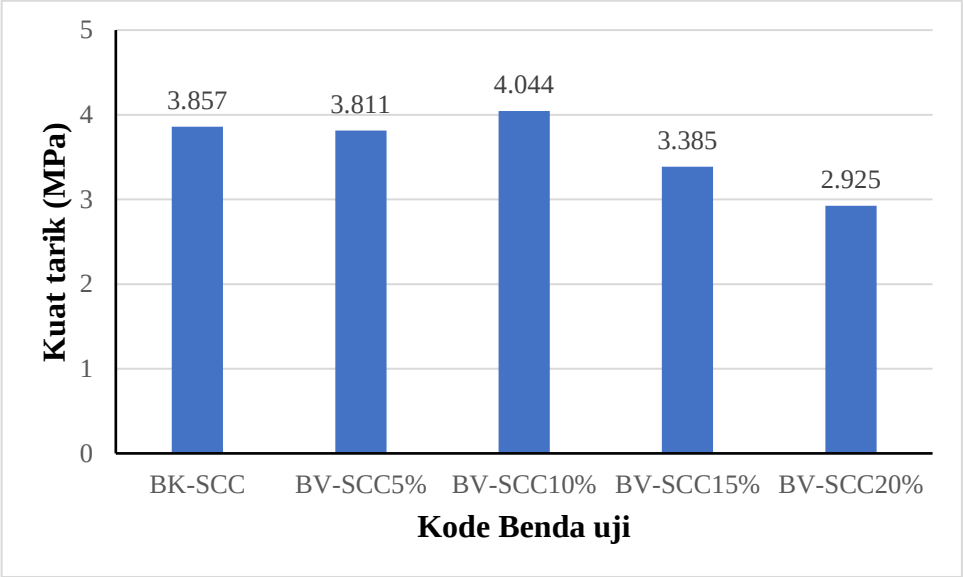
Pengujian kuat tarik belah beton SCC dilakukan pada usia beton mencapai umur 28 hari. Pada masing-masing variasi dilakukan pembacaan kuat tarik belah untuk 3 (tiga) sampel. Pada pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan mesin CTM dan benda uji berada dalam posisi berbaring. Analisis pengujian kuat tekan beton dihitung menggunakan Persamaan 3.18 dan berikut adalah contoh perhitunganya.

P = 555 kN = 555000 N

Luas = $\pi \times 150{,}12 \times 301{,}21 = 142055{,}42$ mm2

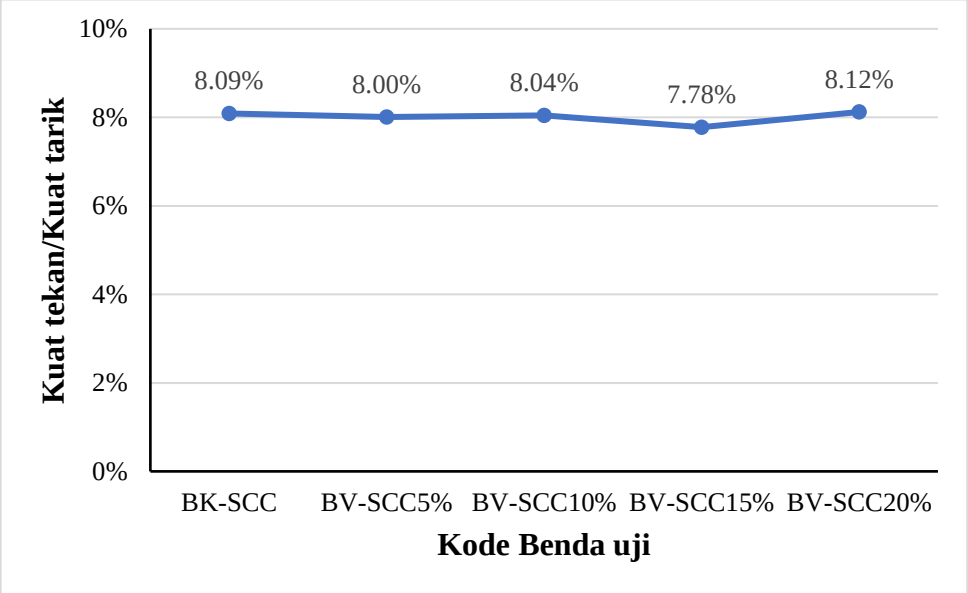
Kuat tarik = $\frac{2 \times 555000}{142055{,}42} = 3{,}91$ MPa

Berdasarkan contoh sampel BK-SCC memiliki nilai kuat tarik sebesar 3,91 MPa. Hasil dari pengujian tarik belah dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan Lampiran 6.



Gambar 5.13 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

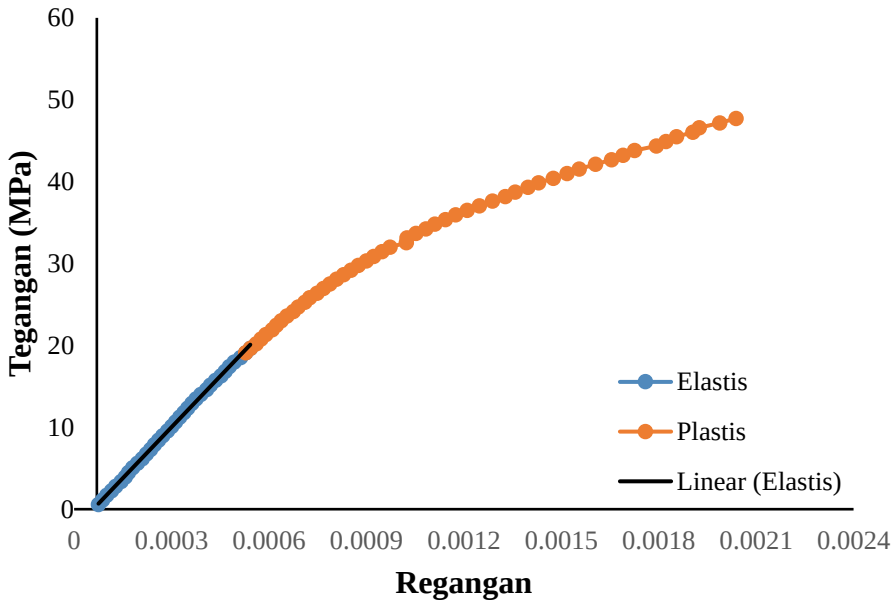
Berdasarkan Gambar 5.14 hasil kuat tarik belah maksimum terdapat pada beton kode sampel BV-SCC10% rata-rata sebesar 4,044 MPa. Sedangkan kuat tarik minimum terdapat pada kode sampel BV-SCC20% dengan 2,925 MPa. Pada grafik terjadi perubahan nilai kuat tarik yang cukup signifikan antara BK-SCC10% dan BV-SCC20%. Perbandingan kuat tarik terhadap kuat desak beton tertinggi berada pada sampel BV-SCC20% sebesar 8,12% terhadap kuat tekan. Sedangkan nilai terendah berada pada sampel BV-SCC15% dengan nilai 7,78% terhadap kuat tekan. Pada peneltian (Riyan Syahputra & Junaidi Siahaan, 2023), rata-rata perbandingan nilai kuat tarik dan desak berkisar 7-9%. Perbandingan kuat tarik terhadap kuat tekan untuk menghitung bahwa beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi tetapi rendah dalam kekuatan tarik. Hal ini mempengaruhi pemilihan metode konstruksi dan penggunaan tulangan baja untuk menambah kekuatan tarik pada struktur beton, (Nuklirullah dkk, 2022). Perbandingan kuat tarik belah antara kuat desak beton dengan kuat tarik dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Desak

5.4.4 Modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan perhitungan berdasarkan hasil pengujian dan secara teoritis. Pengujian dilakukan dengan melakukan penekanan silinder beton pada mesin CTM hingga perubahan bentuk dari beban maksimum yang dapat di terima beton. Pengujian modulus elastisitas tidak dilakukan pada variasi BV-SCC20% karena tidak dikatakan sebagai mutu tinggi >41,4 MPa. Pengujian dilakukan pada silinder beton dengan dipasang alat *compressiometer* yang terhubung dengan *dial gauge* dan dilakukan pembacaan setiap beban 10 kN. Hasil yang diperoleh berasal dari pembacaan dial pada saat pengujian modulus elastisitas dibuat grafik hubungan regangan tegangan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Grafik regangan tegangan sampel BK-SCC0% dapat dilihat pada Gambar 5.15. dan Lampiran 7 BK-SCC Sampel 3.



Gambar 5.15 Grafik Regangan Tegangan Sampel Uji BK-SCC

Berdasarkan pada Gambar grafik 5.16 di atas, dilakukan perhitungan nilai koreksi regangan dengan bantuan aplikasi *AutoCad*. Sehingga dapat dilakukan perhitungan modulus elastistas menggunakan persamaan 3.19 sebagai berikut.

S_2 = 19,65 MPa

S_1 = 2,69 MPa

ε_2 = 0,000543 MPa (koreksi)

ε_1 = 0,00005 MPa

$E_C = \frac{19{,}65 - 2{,}69}{0{,}000543 - 0{,}00005} = 34423{,}96$ MPa

Perhitungan berdasarkan ASTM C-469-94 di atas, diperoleh hasil perhitungan modulus elastisitas BK-SCC adalah 34423,96 MPa. setelah didapat hasil selanjutnya dilakukan perhitungan juga pada variasi lain. Berikut hasil rekapitulasi dari perhitungan modulus elastisitas pada varaisi lain menggunakan ASTM C-469-94 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas ASTM C-649-94

Tipe Benda Uji	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)
BK-SCC	32847.67	34755.78
	36995.69	
	34423.96	
BV-SCC1	32068.97	31017.40
	29702.66	
	31280.55	
BV-SCC2	33613.44	32521.31
	33836.57	
	30113.92	
BV-SCC3	34551.04	31167.32
	26099.90	
	32851.04	
BV-SCC3	26790.10	30307.51
	26185.94	
	37946.48	

Hasil perhitungan modulus elastisitas berdasarkan hasil uji menggunakan rumus pada ASTM C-469-94, selanjutnya dilakukan perhitungan predikisi menggunkan rumus empiris. Pada penelitian ini menggunakan Persamaan 3.20 dan 3.21 mengacu pada SNI-2847-2019. Kemudian menggunakan Persamaan 3.22 dan 3.23 Mengacu pada FHWA (2000) dan NBR-6118 (2003). Berikut contoh perhitungan prediksi modulus elastisitas pada BK-SCC.

Berat volume = 2326,41 kg/m3.

Kuat tekan maksimum = 48,84 MPa.

$E = 2326{,}41^{1{,}5} \times 0{,}043 \times \sqrt{48{,}84} = 33719{,}92$ MPa

$E = 4700 \times \sqrt{48{,}84} = 32846{,}38$ MPa

$E = 3837 \times \sqrt{48{,}84} = 26815{,}23$ MPa

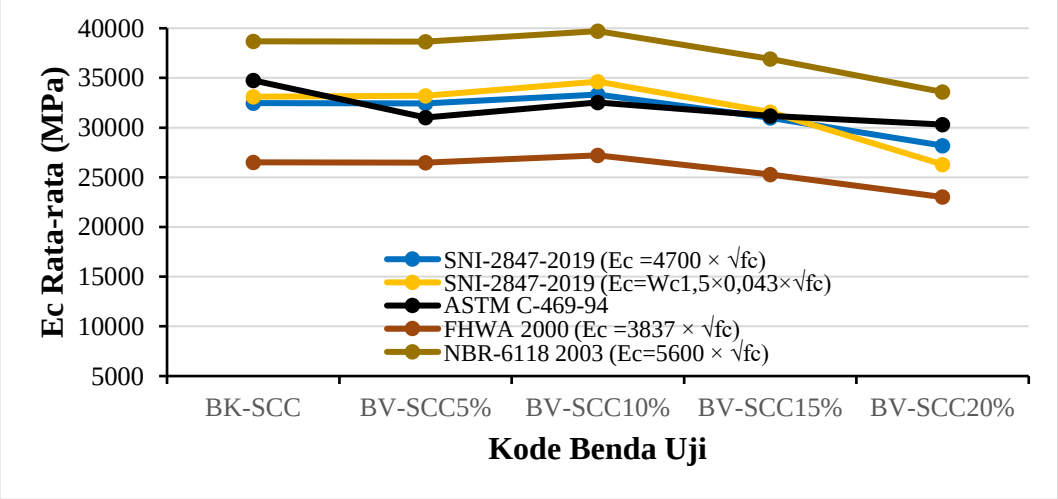
$E = 5600 \times \sqrt{48{,}84} = 39136{,}12$ MPa

Hasil rekap perhitungan modulus elastisitas menggunakan persamaan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Modulus

Tipe Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume (kg/m3)	SNI-2847-2019 (Ec =4700 × √fc)		SNI-2847-2019 (Ec=Wc1,5×0,043×√fc)		ASTM C-469-94		FHWA 2000 (Ec =3837 × √fc)		NBR-6118 2003 (Ec =5600 × √fc)	
			Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)
BK-SCC	46.61	2311.43	32087.90	32457.64	32623.61	33105.99	32847.67	34755.78	26196.02	26497.87	38232.40	38672.94
	47.64	2311.16	32438.64		32974.43		36995.69		26482.36		38650.30	
	48.84	2326.41	32846.38		33719.92		34423.96		26815.23		39136.12	
BV-SCC5%	50.03	2337.9	33243.86	32426.21	34381.24	33201.78	32068.97	31017.40	27139.72	26472.21	39609.70	38635.49
	46.53	2317.13	32058.99		32714.91		29702.66		26172.42		38197.95	
	46.29	2311.41	31975.79		32509.19		31280.55		26104.49		38098.81	
BV-SCC10%	49.19	2361.67	32964.57	33327.06	34613.53	34628.81	33613.44	32521.31	26911.72	27207.64	39276.94	39708.83
	49.25	2320.06	32984.53		33723.26		33836.57		26928.01		39300.71	
	52.43	2353.52	34032.07		35549.65		30113.92		27783.20		40548.85	
BV-SCC15%	46.27	2311.74	31969.22	30986.56	32509.48	31574.78	34551.04	31167.32	26099.13	25296.90	38090.99	36920.16
	44.67	2326.68	31411.37		32252.49		26099.90		25643.71		37426.31	
	39.61	2305.76	29579.10		29962.37		32851.04		24147.87		35243.18	
BV-SCC20%	38.08	2226.97	29002.53	28189.06	27885.38	26292.67	26790.10	30307.51	23677.17	23013.07	34556.21	33586.96
	32.51	2136.2	26798.78		24207.34		26185.94		21878.07		31930.46	
	37.46	2179.88	28765.86		26785.30		37946.48		23483.96		34274.22	

Dari hasil perhitungan modulus elastisitas pada Tabel 5.19 di atas menunjukkan perbedaan. Pada SNI-2847-2019 nilai modulus elastisitas berdasarkan kuat tekan paling tinggi pada kode variasi BV-SCC10% dengan 33327,06 MPa dan nilai modulus elastisitas berdasarkan berat volume mencapai nilai tertinggi pada kode variasi BV-SCC10% dengan 34628,81 MPa. Untuk nilai modulus elastisitas terendah, baik berdasarkan kuat tekan dan berat volume, ada pada variasi BV-SCC20% dengan nilai 28189.06 MPa dan 26292.67 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan kuat tekan menggunakan persamaan pada FHWA (2000), dan NBR-6118 (2003) nilai tertinggi berada pada variasi BV-SCC10% dengan 27207.64 MPa dan 39708.83 MPa. Hasil perhitungan modulus elastisitas berdasarkan pengujian dan pendekatan empiris dapat dibuat grafik perbandingan nilai modulus elastisitas. Grafik hubungan nilai modulus elastisitas dengan variasi beton menurut 5 (lima) perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi

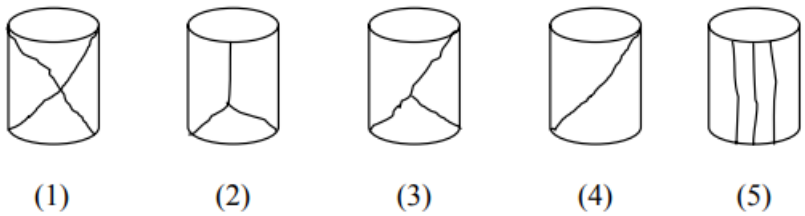
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17, perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan metode ASTM C-469-94 menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan metode SNI-03-2847-2019, FHWA (2000), dan NBR-6118 (2003). Hal ini dikarenakan metode (ASTM C 469 – 94, t.t.) menggunakan data

langsung saat pengujian di laboratorium. Sedangkan metode SNI 2847-2019 (2019), FHWA (2000), dan NBR 6118 (2003) data modulus elastisitas diperoleh dari pendekatan nilai kuat tekan dan berat volume beton.

Nilai modulus elastisitas ini juga dipengaruhi oleh kuat tekan dan bentuk beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton dan semakin sedikit rongga pada beton, maka nilai modulus elastisitas akan semakin besar. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, maka beton akan semakin daktail dan elastis.

5.4.5 Pola retak beton

Menurut ASTM C39 pola retak pada beton benda uji silinder dibedakan menjadi 5 jenis pola retak, yaitu pada Gambar 5.17 berikut:



Gambar 5.17 Pola Retak Beton

1. Pola retak kerucut (*cone*),
2. Pola retak kerucut dan pecah (*cone and split*),
3. Pola retak kerucut dan geser (*cone and shear*),
4. Pola retak geser (*shear)*,
5. Pola retak *columnar*.

Tabel 5.20 Pola Retak Pada Setiap Komposisi

No	Kode sampel	Kuat tekan	Kuat tarik	Jenis retakan
1	BK-SCC			Kerucut
2	BV-SCC1			Kerucut dan geser
3	BV-SCC2			Kerucut dan geser

Lanjutan Tabel 5.20 Pola Retak Pada Setiap Komposisi

No	Kode sampel	Kuat tekan	Kuat tarik	Jenis retakan
4	BV-SCC3			Kerucut dan pecah
5	BV-SCC4			Geser

5.5 Rekapitulasi

Berdasarkan keseluruhan pengujian dari pembuatan campuran beton hingga pengujian beton didapatkan data hasil pengujian. Data hasil pengujian meliputi hasil uji slump, kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton untuk masing-masing sampel benda uji tiap variasi mendapat hasil yang mampu digunakan sebagai inovasi pemanfaatan limbah kelapa sawit dengan mengganti sebagian semen untuk campuran beton SCC mutu tinggi. Tabel 5.21 berikut merupakan rekapitulasi hasil untuk berbagai pengujian sampel benda uji pada penelitian ini.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Tipe Benda Uji	Persentase (%)	*Slump-flow*		*V-funnel*	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas				
		T50 (detik)	Diameter (mm)				SNI-2847-2019 (Ec =4700 × √fc)	SNI-2847-2019 (Ec=Wc1,5× 0,043×√fc)	ASTM C-469-94	FHWA (2000)	NBR - 6118 (2003)
BK-SCC	0%	4,52	673	8,43	47.70	3.857	32457.64	33105.99	34755.78	26497.87	38672.94
BV-SCC1	5%	4,63	653	8,12	47.61	3.811	32426.21	33201.78	31017.40	26472.21	38635.49
BV-SCC2	10%	3,88	665	8,03	50.29	4.044	33327.06	34628.81	32521.31	27207.64	39708.83
BV-SCC3	15%	4,30	641	8,64	43.51	3.385	30986.56	31574.78	31167.32	25296.90	36920.16
BV-SCC4	20%	6,19	592	9,32	36.02	2.925	28189.06	26292.67	30307.51	23013.07	33586.96

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. SCC mutu tinggi dapat diproduksi dengan menggunakan campuran POFA hingga 15% tanpa menghasilkan efek buruk yang signifikan pada sifat segar campuran beton.
2. POFA dapat dimanfaatkan sebagai material pengganti parsial hingga 10% untuk menghasilkan beton SCC mutu tinggi dengan kuat tekan umur 28 hari mencapai 50,29 MPa. Namun, beton yang mengandung 5% POFA menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah (47,61 MPa) dibandingkan beton kontrol (47,70 MPa). Pengujian tarik belah campuran POFA sebesar 10% terjadi peningkatan (4,04 MPa) dibandingkan campuran POFA sebesar 5% (3,811 MPa). Penggunaan POFA pada hasil pengujian modulus elatitistas pada beton SCC mutu tinggi terjadi perbedaan antara metode ASTM -C469-94, SNI-2847-2019, FHWA (2000), dan NBR-6118 berdasarkan data kuat desak dan berat volume pada sampel pengujian.
3. Hasil pengujian optimum dari pengaruh penggunaan campuran POFA diperoleh 50,29 MPa dengan kadar campuran sebesar 10% dari berat bahan berdasar semen mengalami kenaikan 5,44% dari beton kontrol.
4. Berdasarkan pola retakan pada setiap komposisi, pola retak kerucut adalah yang umum terjadi hal tersebut menindikasikan bahwa proporsi campuran dan beban saat pengujian terdistribusi secara merata. Adapun pada beberapa sampel terjadi retakan kerucut dan patah hal itu dapat disebabkan karena campuran kurang homogen. Dan pada pola retakan geser, disebabkan oleh pembebanan yang tidak merata saat pengujian berlangsung

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, terdapat saran untuk melakukan penelitian lebih lanjut berkaitan dengan penggunaan campuran dari limbah pabrik pengolahan minyak kelapa sawit.

1. Perlu dilakukan pengujian unsur kimiawi dari abu limbah pabrik kelapa sawit yang akan digunakan.
2. Perlu dilakukan penelitian berkaitan dengan angka konversi untuk beton SCC mutu tinggi dengan variasi.
3. Pada penelitian yang akan datang, dapat melakukan pengujian penyerapan air dan ketahanan asam pada beton.
4. Perlu dilakukan studi lanjut terhadap penurunan hasil kuat tekan terhadap peningkatan jumlah penggunaan abu.
5. Perlu pengujian lebih lanjut terhadap penelitian bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton mutu tinggi dengan dan tanpa memperhatikan berat jenis dan berat volume antara 2 material substitusi dan replacement.

DAFTAR PUSTAKA

ABNT NBR 6118. (2003). *Design. Structural. Plain concrete. Reinforced concrete. Prestressed concrete. Concrete*.

Adam M. Nevile, & J.J. Brooks. (1987). *Concrete Technology* (2 ed., Vol. 1). Longman Scientific & Technical.

Agung Prasetiyo. (2018). PENGARUH PENAMBAHAN POZOLAN ALAMI (ABU BOILER KELAPA SAWIT) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN DURABILITAS BETON SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) MUTU TINGGI. *Universitas Teknologi Yogyakarta*.

Alsubari, B., Shafigh, P., Jumaat, M. Z., & Alengaram, U. J. (2014). Palm Oil Fuel Ash as a Partial Cement Replacement for Producing Durable Self-consolidating High-Strength Concrete. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *39*(12), 8507–8516. https://doi.org/10.1007/s13369-014-1381-3

ASTM C39. (20M). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens: Vol. 04.02*. ASTM International.

ASTM C 469 – 94. (t.t.). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*.

Debby Endriani. (2012). *Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Sawit terhadap Daya Dukung dan Kuat Tekan pada Tanah Lempung Ditinjau dari Uji UCT dan CBR Laboratorium*. Universitas Sumatera Utara.

Dehn, F., Holschemacher, K., & Weiße, D. (2000). Self-Compacting Concrete (SCC), Time Development of the Material Properties and the Bond Behaviour. *Leipzig Annual Civil Engineering Report (LACAER)*, *5*, 115–124.

EFNARC. (2005). *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* . The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

Hamada, H. M., Jokhio, G. A., Yahaya, F. M., Humada, A. M., & Gul, Y. (2018). The present state of the use of palm oil fuel ash (POFA) in concrete. *Construction and Building Materials*, *175*, 26–40. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.227

Irfansyah, M. H., Rakhmawati, A., & Arnandha, Y. (2021). STUDI ANALISIS BETON MUTU TINGGI SCC (SELF COMPACTING CONCRETE) MENGGUNAKAN CAMPURAN LIMBAH MARMER DAN

SUPERPLASTICIZER. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, *2*(1), 56. https://doi.org/10.31002/jris.v2i1.4182

Ismail, M., Budiea, A. M. A., Hussin, M., & Muthusamy, K. (2010). Effect of POFA fineness on durability of high strength concrete. *Indian Concrete Journal*, *84*.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*.

Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, *7*(2), 78–84. https://doi.org/10.21063/JTS.2020.V702.05

Nirma Rahmadia. (2018). *Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen Untuk Beton Mutu Tinggi*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, *1*(1), 5–15. https://doi.org/10.3151/jact.1.5

Okamura, H., Ozawa, K., & Ouchi, M. (2000). Self-compacting concrete. *Structural Concrete*, *1*, 3–17. https://doi.org/10.1680/stco.2000.1.1.3

Panchal, J. N., Challagulla, S. P., & Siva Kishore, I. (2021). Influence of Palm Oil Fuel Ash on Strength Properties of Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1197*(1), 012082. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1197/1/012082

Ranjbar, N., Behnia, A., Alsubari, B., Moradi Birgani, P., & Jumaat, M. Z. (2016). Durability and mechanical properties of self-compacting concrete incorporating palm oil fuel ash. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 723–730. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.033

Riyan Syahputra, & Junaidi Siahaan. (2023). Pengaruh penambahan natrium silikat (Na2SiO3) terhadap daya serap air dan kuat tekan pada batako. *Jurnal Vortex*, *4*(1).

Safiuddin, M., Isa, H., & Jumaat, Z. (2011). Fresh properties of self-consolidating concrete incorporating palm oil fuel ash as a supplementary cementing material. *Chiang Mai Journal of Science*, *38*, 389–404.

Sata, V., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. (2004). Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High-Strength Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering - J MATER CIVIL ENG*, *16*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(623)

SNI 2847-2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.

Tambichik, M. A., Abdul Samad, A. A., Mohamad, N., Mohd Ali, A. Z., Mydin, M. A. O., Mohd Bosro, M. Z., & Iman, M. A. (2018). Effect of combining Palm Oil Fuel Ash (POFA) and Rice Husk Ash (RHA) as partial cement replacement to the compressive strength of concrete. *International Journal of Integrated Engineering*, *10*(8). https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.08.004

Tangchirapat, W., Jaturapitakkul, C., & Chindaprasirt, P. (2009). Use of palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material for producing high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, *23*(7), 2641–2646. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.01.008

Ting, T., Ting, M., Rahman, M., & Pakrashi, V. (2019). *Palm Oil Fuel Ash: Innovative Potential Applications as Sustainable Materials in Concrete*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11317-7

Tjaronge M.Wihardi, Herman Parung, Kenedi Siswanto, & Ambo Dalle. (2006). *Pecahan Marmer sebagai Pengganti Parsial Agregat Kasar Self Compacting Concrete (SCC)*. *5*(1).

V. M. Malhotra. (1999). Making Concrete “Greener” with Fly Ash. *Concrete International*, *21*(5), 61–66.

Yolinda Martius. (2020). PENGARUH VARIASI SUPERPLASTICIZER TERHADAP KARAKTERISTIK SELF COMPACTING CONCRETE DENGAN ABU CANGKANG SAWIT. *Undergraduate thesis Sriwijaya University*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Laboratorium

Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir: Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	488	488	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	982	979	
Berat piknometer berisi air, gram (B)	666	666	
Berat Jenis Curah	2,652	2,568	2,61
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	2,717	2,632	2,67
Berat Jenis semu	2,837	2,742	2,79
Penyerapan Air %	2,459	2,459	2,46

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Asal Pasir: Progo

Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	-	-	-	-
4,80	14	0,70	0,70	99,30
2,40	141	7,03	7,73	92,27
1,20	373	18,59	26,32	73,68
0,60	747	37,24	63,56	36,44
0,30	479	23,93	87,49	12,51
0,15	182	9,27	96,76	3,24
Sisa	62	3,24	100	-
Jumlah	**1998**	**100**		

Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	-	-	-	-
4,80	16	0,80	0,80	99,20
2,40	202	10,11	10,91	89,09
1,20	479	23,96	34,87	65,13
0,60	627	31,37	66,23	33,77
0,30	453	22,66	88,89	11,11
0,15	170	8,50	97,40	2,60
Sisa	52	2,60	100	-
Jumlah	**1998**	**100**		

Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah II	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan:

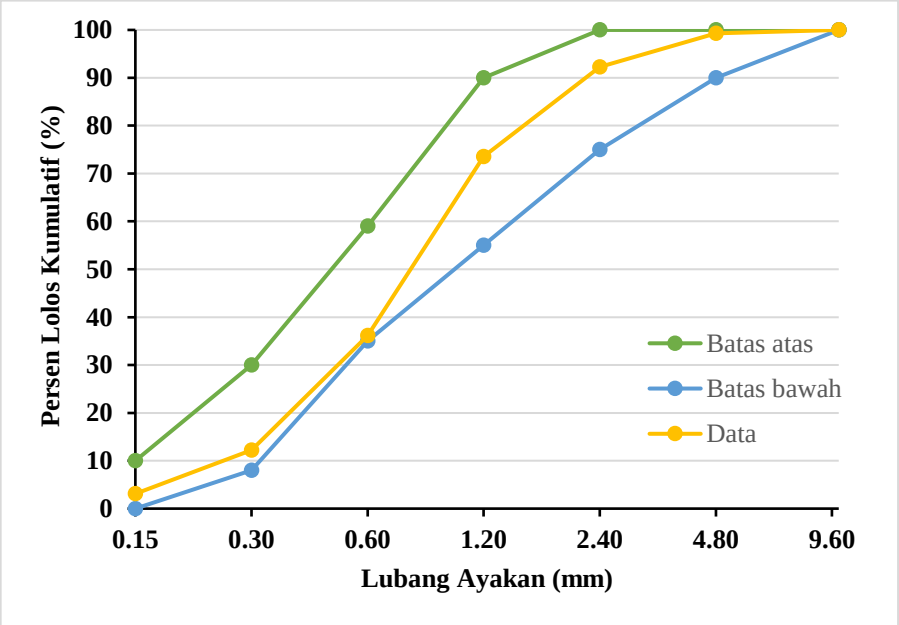
Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

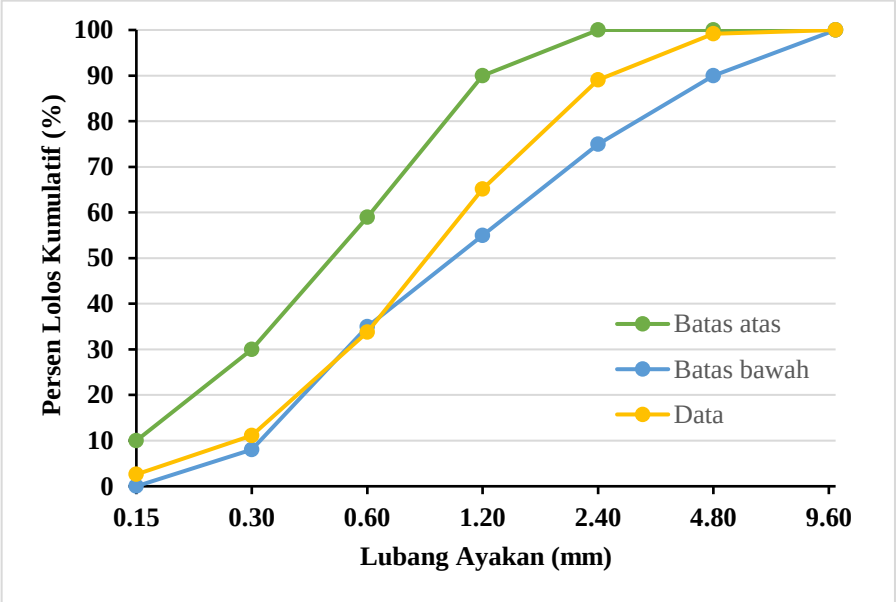
Daerah IV : Pasir Halus

Gambar Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1



Hasil Analisa Saringan: Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)

Gambar Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2



Hasil Analisa Saringan: Pasir masuk daerah II (Pasir Agak Kasar)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir: Progo

Pemeriksaan: Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	5261	5261	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	14016	14013	
Berat Agregat (W3)	8755	8752	
Diameter Tabung (d)	15.00	15.00	
Tinggi Tabung (t)	30.00	30.00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,651	1,651	1,651

Pemeriksaan: Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	5261	5261	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	12943	12875	
Berat Agregat (W3)	7682	7614	
Diameter Tabung (d)	15.00	15.00	
Tinggi Tabung (t)	30.00	30.00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,449	1,436	1,443

PEMERIKSAAN LOLOS SARINGAN NO.200 (UJI KANDUNGAN LUMPUR) AGREGAT HALUS

Asal Pasir: Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	500	
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2)	487	489	
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 (W1-W2)/W1 x100	2,2%	2,6%	2,4%

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil: Clereng Progo

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4891	4888	
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	
Berat cawan berisi kerikildan air, gram (Bt)	3141	3152	
Berat Jenis Curah,	2,63	2,65	2,64
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD),	2,69	2,71	2,70
Berat Jenis semu,	2,79	2,82	2,81
Penyerapan Air (%)	2,23	2,29	2,26

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Asal Kerikil: Clereng Progo

Sampel 1

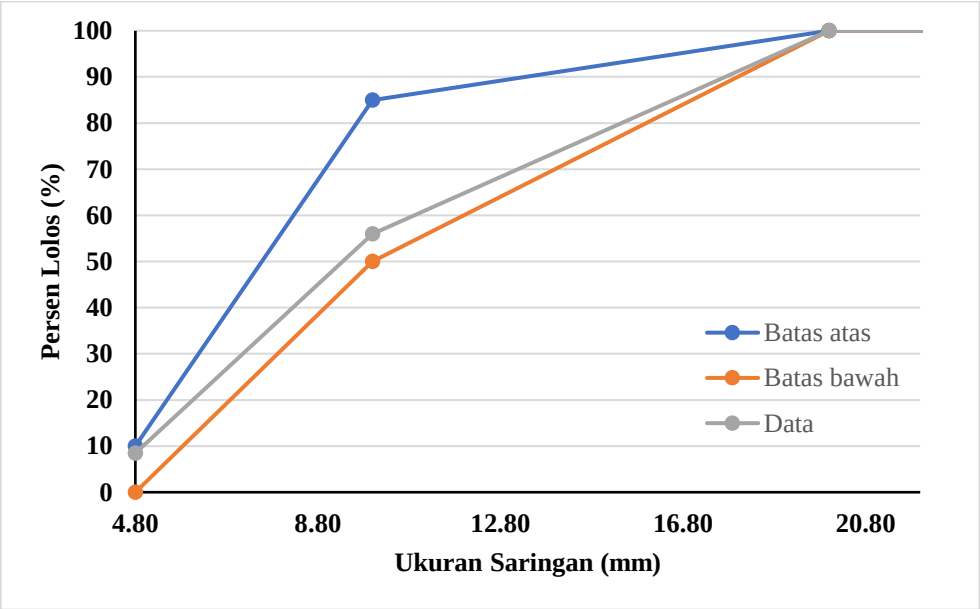
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	2201	44,02	44,03	55,97
4,80	2375	47,51	91,53	8,46
2,40	364	7,28	98,82	1,18
1,20	21	0,42	99,24	0,76
0,60	-	-	99,24	0,76
0,30	-	-	99,24	0,76
0,15	-	-	99,24	0,76
Sisa	38	0,76	100	-
Jumlah	**4999**	**100**		

Sampel 2

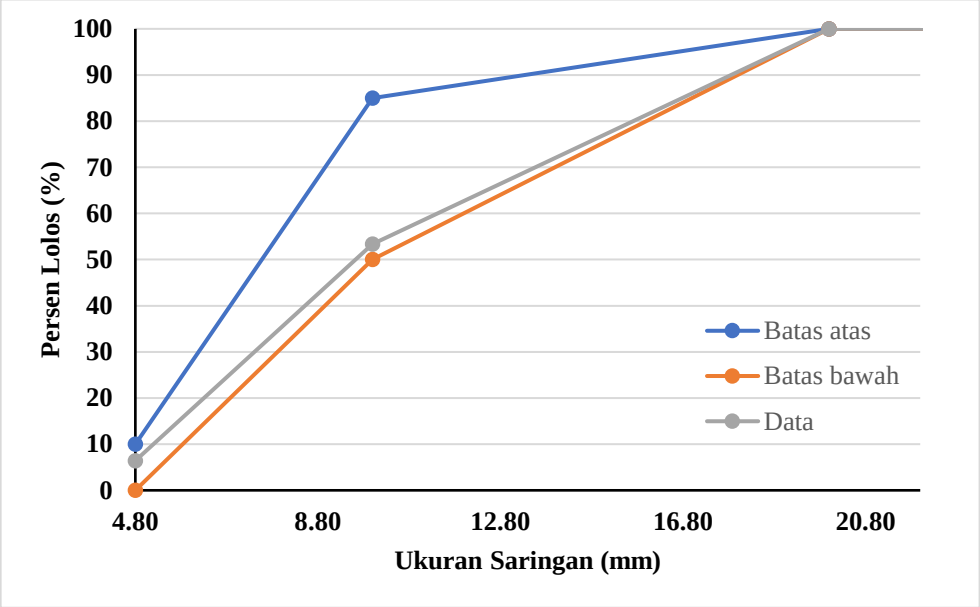
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	2331	44,65	46,65	53,35
4,80	2345	46,93	93,58	6,42
2,40	264	5,28	98,86	1,14
1,20	35	0,70	99,56	0,44
0,60	-	-	99,56	0,44
0,30	-	-	99,56	0,44
0,15	-	-	99,56	0,44
Sisa	22	0.44	100	-
Jumlah	**4997**	**100**		

Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lolos Ayakan		
	Besar Butiran Maximum		
	40 mm	20 mm	10mm
40.00	95-100	100	100
20.00	30-70	95-100	100
10.00	10-35	25-55	50-85
4.80	0-5	0-10	0-10



Hasil Analisa Saringan: Ukuran Maksimum Agregat 10 mm



Hasil Analisa Saringan: Ukuran Maksimum Agregat 10 mm

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil: Clereng Progo

Pemeriksaan: Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	8910	8910	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	16421	16382	
Berat Agregat (W3)	7511	7472	
Diameter Tabung (d)	15.00	15.00	
Tinggi Tabung (t)	30.00	30.00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,417	1,409	1,413

Pemeriksaan: Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Tabung (W1)	8910	8910	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17031	14049	
Berat Agregat (W3)	8120	8139	
Diameter Tabung (d)	15.00	15.00	
Tinggi Tabung (t)	30.00	30.00	
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	
Berat Volume Padat	1,532	1,535	1,534

Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

Proporsi Campuran Beton 1m^3

Kode Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Abu boiler (POFA)		*Superplasticizer*	
					Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
BK-SCC	554,14	600,09	997,10	190,00	0,000	0	5.541	1
BV-SCC5%	526,44	600,09	997,10	190,00	22.707	5	5.541	1
BV-SCC10%	498,73	600,09	997,10	190,00	55.414	10	5.541	1
BV-SCC15%	471,02	600,09	997,10	190,00	83,121	15	5.541	1
BV-SCC20%	443,31	600,09	997,10	190,00	110.829	20	5.541	1

Proporsi Campuran Beton dengan Angka Penyusutan 6 Silinder

Kode Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Abu Boiler (POFA)		Superplasticizer	
					Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
BK-SCC	22.950	24.852	41.269	7.25	0	0	0.212	1
BV-SCC5%	21.802	24.852	41.269	7.25	1.147	5	0.212	1
BV-SCC10%	20.655	24.852	41.269	7.25	2.295	10	0.212	1
BV-SCC15%	19.507	24.852	41.269	7.25	3.442	15	0.212	1
BV-SCC20%	18.360	24.852	41.269	7.25	4.590	20	0.212	1

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Slump

I. Data hasil pengujian *slump-flow*

No.	Benda Uji	Nilai *Slump-flow* (mm)	T_{50} (detik)
1.	BK-SCC	673	3,52
3.	BV-SCC5%	663	3,63
4.	BV-SCC10%	665	3,88
5.	BV-SCC15%	641	4,30
6.	BV-SCC20%	592	6,19

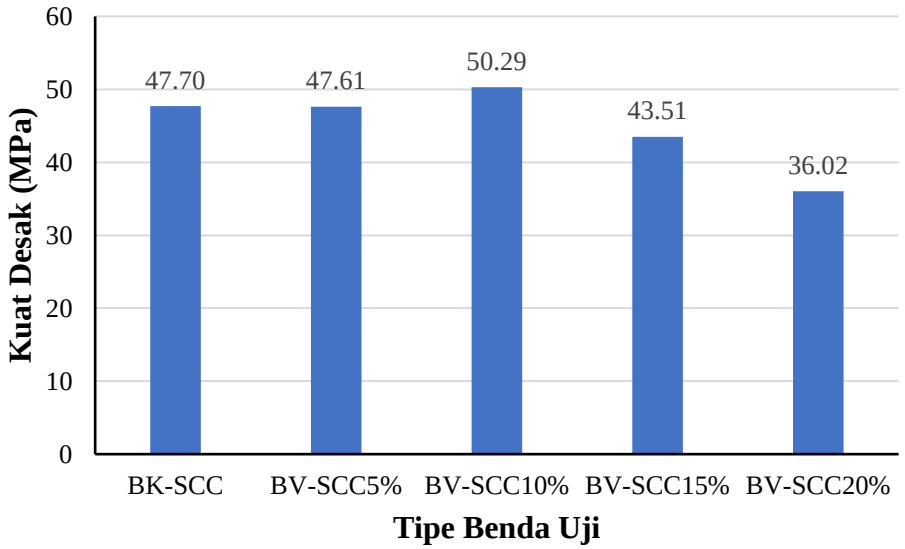
II. Data hasil pengujian *V-funnel*

No.	Benda Uji	Nilai *V-funnel* (detik)
1.	BK-SCC	8.43
3.	BV-SCC5%	8,12
4.	BV-SCC10%	8,03
5.	BV-SCC15%	8,64
6.	BV-SCC20%	9,32

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tipe Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm2)	Variasi (%)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak (MPa)	Rerata (MPa)	Kondisi
BK-SCC0%	150.12	301.21	17699.74	0%	825	46.61	47.70	Baik/Tidak keropos
	150.73	300.00	17843.88		850	47.64		
	150.60	300.72	17813.11		870	48.84		
BV-SCC5%	150.50	300.12	17789.46	5%	890	50.03	47.61	
	150.71	300.54	17839.14		830	46.53		
	150.92	300.93	17888.89		828	46.29		
BV-SCC10%	150.92	302.10	17888.89	10%	880	49.19	50.29	
	151.00	300.91	17907.86		882	49.25		
	150.12	300.12	17699.74		928	52.43		
BV-SCC15%	150.22	300.72	17723.33	15%	820	46.27	43.51	
	150.16	300.92	17709.18		791	44.67		
	150.33	300.35	17749.30		703	39.61		
BV-SCC20%	149.90	300.83	17647.90	20%	672	38.08	36.02	
	153.80	299.90	18578.15		604	32.51		
	150.57	302.10	17806.02		667	37.46		

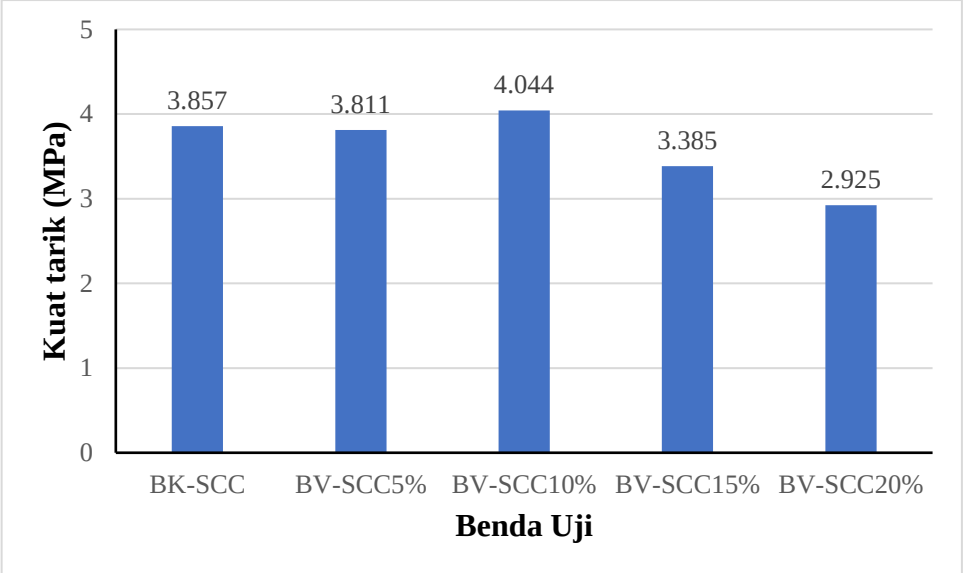
Grafik Hasil Pengujian Tekan



Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik

Tipe Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm2)	Variasi (%)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak (MPa)	Rerata (MPa)	Kondisi
BK-SCC	150.12	301.21	142055.42	0%	555	3.907	3.857	Baik/Tidak keropos
	151.73	301.00	143478.83		545	3.798		
	150.60	301.72	142750.93		552	3.867		
BV-SCC1	150.50	300.12	141899.65	5%	544	3.834	3.811	
	150.71	300.54	142296.50		542	3.809		
	150.92	300.93	142679.69		541	3.792		
BV-SCC2	150.92	302.10	143234.42	10%	582	4.063	4.044	
	151.00	300.91	142745.83		575	4.028		
	150.12	300.12	141541.36		572	4.041		
BV-SCC3	150.22	300.72	141918.80	15%	491	3.460	3.385	
	150.16	300.92	141956.47		470	3.311		
	150.33	300.35	141847.98		480	3.384		
BV-SCC4	148.90	300.83	140723.20	20%	428	3.041	2.925	
	153.80	299.90	144904.77		410	2.829		
	150.57	302.10	142902.24		415	2.904		

Grafik Hasil Pengujian Tarik Belah



Lampiran 7 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BK Sampel 1

I. Data Benda Uji

No Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	46,61	MPa
Diameter	150.1	mm
Tinggi	301.2	mm
Luas Penampang	17699.74432	mm^2
Berat Volume	2311.426401	kg/m^3
Lo	200	mm

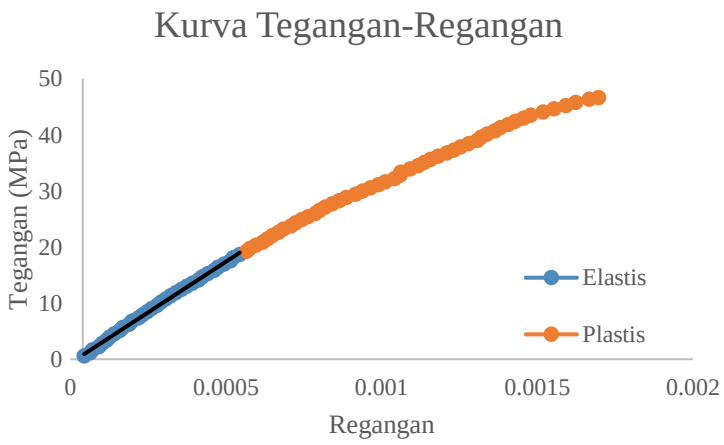
II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer (Dial)**	**Deformasi, ΔL (mm)**	**Regangan, ε**	**Tegangan,σ (MPa)**
KN	**N**	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo)	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	8	0.004	0.00002	1.13
30	30000	11	0.0055	0.0000275	1.69
40	40000	19	0.0095	0.0000475	2.26
50	50000	23	0.0115	0.0000575	2.82
60	60000	29	0.0145	0.0000725	3.39
70	70000	33	0.0165	0.0000825	3.95
80	80000	39	0.0195	0.0000975	4.52
90	90000	46	0.023	0.000115	5.08
100	100000	50	0.025	0.000125	5.65
110	110000	58	0.029	0.000145	6.21
120	120000	62	0.031	0.000155	6.78
130	130000	70	0.035	0.000175	7.34
140	140000	75	0.0375	0.0001875	7.91
150	150000	81	0.0405	0.0002025	8.47
160	160000	87	0.0435	0.0002175	9.04
170	170000	94	0.047	0.000235	9.60
180	180000	99	0.0495	0.0002475	10.17
190	190000	105	0.0525	0.0002625	10.73
200	200000	111	0.0555	0.0002775	11.30

Beban		Ekstensiometer (Dial)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan,σ (MPa)
210	210000	118	0.059	0.000295	11.86
220	220000	125	0.0625	0.0003125	12.43
230	230000	132	0.066	0.00033	12.99
240	240000	139	0.0695	0.0003475	13.56
250	250000	147	0.0735	0.0003675	14.12
260	260000	152	0.076	0.00038	14.69
270	270000	159	0.0795	0.0003975	15.25
280	280000	167	0.0835	0.0004175	15.82
290	290000	172	0.086	0.00043	16.38
300	300000	180	0.09	0.00045	16.95
310	310000	188	0.094	0.00047	17.51
320	320000	192	0.096	0.00048	18.08
330	330000	200	0.1	0.0005	18.64
340	340000	209	0.1045	0.0005225	19.21
350	350000	213	0.1065	0.0005325	19.77
360	360000	221	0.1105	0.0005525	20.34
370	370000	230	0.115	0.000575	20.90
380	380000	236	0.118	0.00059	21.47
390	390000	242	0.121	0.000605	22.03
400	400000	250	0.125	0.000625	22.60
410	410000	256	0.128	0.00064	23.16
420	420000	266	0.133	0.000665	23.73
430	430000	272	0.136	0.00068	24.29
440	440000	280	0.14	0.0007	24.86
450	450000	288	0.144	0.00072	25.42
460	460000	297	0.1485	0.0007425	25.99
470	470000	303	0.1515	0.0007575	26.55
480	480000	310	0.155	0.000775	27.12
490	490000	319	0.1595	0.0007975	27.68
500	500000	328	0.164	0.00082	28.25
510	510000	337	0.1685	0.0008425	28.81
520	520000	349	0.1745	0.0008725	29.38
530	530000	358	0.179	0.000895	29.94
540	540000	368	0.184	0.00092	30.51
550	550000	378	0.189	0.000945	31.07
560	560000	387	0.1935	0.0009675	31.64
570	570000	399	0.1995	0.0009975	32.20
580	580000	406	0.203	0.001015	32.77
590	590000	407	0.2035	0.0010175	33.33

Beban		Ekstensiometer (Dial)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan,σ (MPa)
600	600000	419	0.2095	0.0010475	33.90
610	610000	429	0.2145	0.0010725	34.46
620	620000	437	0.2185	0.0010925	35.03
630	630000	445	0.2225	0.0011125	35.59
640	640000	455	0.2275	0.0011375	36.16
650	650000	466	0.233	0.001165	36.72
660	660000	475	0.2375	0.0011875	37.29
670	670000	484	0.242	0.00121	37.85
680	680000	494	0.247	0.001235	38.42
690	690000	505	0.2525	0.0012625	38.98
700	700000	510	0.255	0.001275	39.55
710	710000	518	0.259	0.001295	40.11
720	720000	528	0.264	0.00132	40.68
730	730000	535	0.2675	0.0013375	41.24
740	740000	545	0.2725	0.0013625	41.81
750	750000	554	0.277	0.001385	42.37
760	760000	565	0.2825	0.0014125	42.94
770	770000	574	0.287	0.001435	43.50
780	780000	590	0.295	0.001475	44.07
790	790000	604	0.302	0.00151	44.63
800	800000	619	0.3095	0.0015475	45.20
810	810000	632	0.316	0.00158	45.76
820	820000	649	0.3245	0.0016225	46.33
825	825000	661	0.3305	0.0016525	46.61

Grafik Modulus Elastisitas BK-SCC1 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BK Sampel 2

I. Data Benda Uji

No Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	47,64	MPa
Diameter	150.7	mm
Tinggi	300.0	mm
Luas Penampang	17843.87941	mm2
Berat Volume	2311.156618	kg/m3
Lo	200	mm

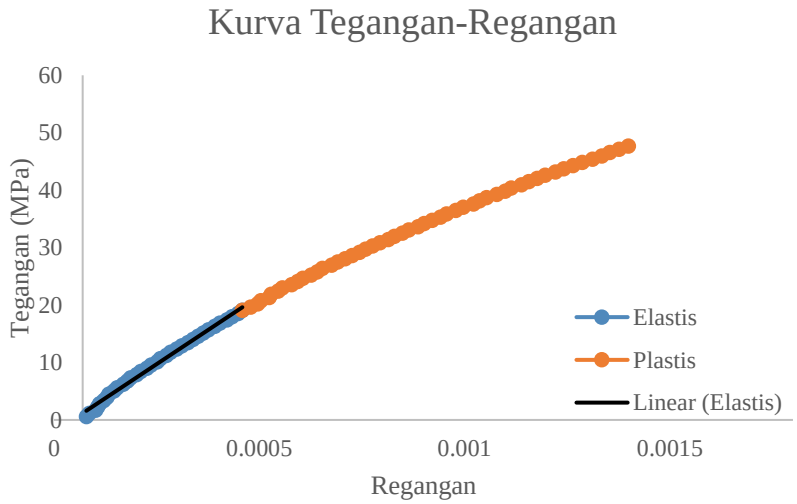
II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	3	0.0015	0.0000075	1.12
30	30000	9	0.0045	0.0000225	1.68
40	40000	11	0.0055	0.0000275	2.24
50	50000	13	0.0065	0.0000325	2.80
60	60000	17	0.0085	0.0000425	3.36
70	70000	20	0.01	0.00005	3.92
80	80000	22	0.011	0.000055	4.48
90	90000	27	0.0135	0.0000675	5.04
100	100000	30	0.015	0.000075	5.60
110	110000	36	0.018	0.00009	6.16
120	120000	40	0.02	0.0001	6.72
130	130000	43	0.0215	0.0001075	7.29
140	140000	49	0.0245	0.0001225	7.85
150	150000	53	0.0265	0.0001325	8.41
160	160000	59	0.0295	0.0001475	8.97
170	170000	63	0.0315	0.0001575	9.53
180	180000	69	0.0345	0.0001725	10.09
190	190000	72	0.036	0.00018	10.65
200	200000	78	0.039	0.000195	11.21
210	210000	82	0.041	0.000205	11.77
220	220000	88	0.044	0.00022	12.33
230	230000	93	0.0465	0.0002325	12.89

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	99	0.0495	0.0002475	13.45
250	250000	104	0.052	0.00026	14.01
260	260000	109	0.0545	0.0002725	14.57
270	270000	114	0.057	0.000285	15.13
280	280000	119	0.0595	0.0002975	15.69
290	290000	125	0.0625	0.0003125	16.25
300	300000	130	0.065	0.000325	16.81
310	310000	137	0.0685	0.0003425	17.37
320	320000	142	0.071	0.000355	17.93
330	330000	148	0.074	0.00037	18.49
340	340000	152	0.076	0.00038	19.05
350	350000	160	0.08	0.0004	19.61
360	360000	167	0.0835	0.0004175	20.17
370	370000	170	0.085	0.000425	20.74
380	380000	178	0.089	0.000445	21.30
390	390000	180	0.09	0.00045	21.86
400	400000	187	0.0935	0.0004675	22.42
410	410000	191	0.0955	0.0004775	22.98
420	420000	200	0.1	0.0005	23.54
430	430000	206	0.103	0.000515	24.10
440	440000	211	0.1055	0.0005275	24.66
450	450000	219	0.1095	0.0005475	25.22
460	460000	225	0.1125	0.0005625	25.78
470	470000	230	0.115	0.000575	26.34
480	480000	239	0.1195	0.0005975	26.90
490	490000	245	0.1225	0.0006125	27.46
500	500000	252	0.126	0.00063	28.02
510	510000	259	0.1295	0.0006475	28.58
520	520000	266	0.133	0.000665	29.14
530	530000	272	0.136	0.00068	29.70
540	540000	279	0.1395	0.0006975	30.26
550	550000	286	0.143	0.000715	30.82
560	560000	294	0.147	0.000735	31.38
570	570000	300	0.15	0.00075	31.94
580	580000	308	0.154	0.00077	32.50
590	590000	314	0.157	0.000785	33.06
600	600000	323	0.1615	0.0008075	33.62
610	610000	329	0.1645	0.0008225	34.19
620	620000	337	0.1685	0.0008425	34.75

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	345	0.1725	0.0008625	35.31
640	640000	351	0.1755	0.0008775	35.87
650	650000	360	0.18	0.0009	36.43
660	660000	367	0.1835	0.0009175	36.99
670	670000	377	0.1885	0.0009425	37.55
680	680000	383	0.1915	0.0009575	38.11
690	690000	390	0.195	0.000975	38.67
700	700000	400	0.2	0.001	39.23
710	710000	408	0.204	0.00102	39.79
720	720000	414	0.207	0.001035	40.35
730	730000	424	0.212	0.00106	40.91
740	740000	431	0.2155	0.0010775	41.47
750	750000	439	0.2195	0.0010975	42.03
760	760000	447	0.2235	0.0011175	42.59
770	770000	457	0.2285	0.0011425	43.15
780	780000	465	0.2325	0.0011625	43.71
790	790000	474	0.237	0.001185	44.27
800	800000	483	0.2415	0.0012075	44.83
810	810000	493	0.2465	0.0012325	45.39
820	820000	502	0.251	0.001255	45.95
830	830000	510	0.255	0.001275	46.51
840	840000	519	0.2595	0.0012975	47.07
850	850000	528	0.264	0.00132	47.64

Grafik Modulus Elastisitas BK-SCC1 Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BK Sampel 3

I. Data Benda Uji

No Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	48,84	MPa
Diameter	150.6	mm
Tinggi	300.7	mm
Luas Penampang	17813.11309	mm2
Berat Volume	2326.406535	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	**N**	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	5	0.0025	0.0000125	1.12
30	30000	10	0.005	0.000025	1.68
40	40000	16	0.008	0.00004	2.25
50	50000	21	0.0105	0.0000525	2.81
60	60000	28	0.014	0.00007	3.37
70	70000	33	0.0165	0.0000825	3.93
80	80000	37	0.0185	0.0000925	4.49
90	90000	42	0.021	0.000105	5.05
100	100000	48	0.024	0.00012	5.61
110	110000	54	0.027	0.000135	6.18
120	120000	59	0.0295	0.0001475	6.74
130	130000	64	0.032	0.00016	7.30
140	140000	69	0.0345	0.0001725	7.86
150	150000	74	0.037	0.000185	8.42
160	160000	79	0.0395	0.0001975	8.98
170	170000	85	0.0425	0.0002125	9.54
180	180000	90	0.045	0.000225	10.10
190	190000	95	0.0475	0.0002375	10.67
200	200000	100	0.05	0.00025	11.23
210	210000	105	0.0525	0.0002625	11.79
220	220000	110	0.055	0.000275	12.35
230	230000	115	0.0575	0.0002875	12.91

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	120	0.06	0.0003	13.47
250	250000	126	0.063	0.000315	14.03
260	260000	133	0.0665	0.0003325	14.60
270	270000	138	0.069	0.000345	15.16
280	280000	144	0.072	0.00036	15.72
290	290000	151	0.0755	0.0003775	16.28
300	300000	156	0.078	0.00039	16.84
310	310000	161	0.0805	0.0004025	17.40
320	320000	167	0.0835	0.0004175	17.96
330	330000	175	0.0875	0.0004375	18.53
340	340000	181	0.0905	0.0004525	19.09
350	350000	187	0.0935	0.0004675	19.65
360	360000	194	0.097	0.000485	20.21
370	370000	200	0.1	0.0005	20.77
380	380000	206	0.103	0.000515	21.33
390	390000	214	0.107	0.000535	21.89
400	400000	219	0.1095	0.0005475	22.46
410	410000	225	0.1125	0.0005625	23.02
420	420000	232	0.116	0.00058	23.58
430	430000	240	0.12	0.0006	24.14
440	440000	246	0.123	0.000615	24.70
450	450000	254	0.127	0.000635	25.26
460	460000	260	0.13	0.00065	25.82
470	470000	269	0.1345	0.0006725	26.39
480	480000	277	0.1385	0.0006925	26.95
490	490000	285	0.1425	0.0007125	27.51
500	500000	293	0.1465	0.0007325	28.07
510	510000	302	0.151	0.000755	28.63
520	520000	311	0.1555	0.0007775	29.19
530	530000	320	0.16	0.0008	29.75
540	540000	330	0.165	0.000825	30.31
550	550000	339	0.1695	0.0008475	30.88
560	560000	349	0.1745	0.0008725	31.44
570	570000	359	0.1795	0.0008975	32.00
580	580000	379	0.1895	0.0009475	32.56
590	590000	380	0.19	0.00095	33.12
600	600000	391	0.1955	0.0009775	33.68
610	610000	403	0.2015	0.0010075	34.24
620	620000	414	0.207	0.001035	34.81

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	427	0.2135	0.0010675	35.37
640	640000	440	0.22	0.0011	35.93
650	650000	454	0.227	0.001135	36.49
660	660000	469	0.2345	0.0011725	37.05
670	670000	485	0.2425	0.0012125	37.61
680	680000	501	0.2505	0.0012525	38.17
690	690000	513	0.2565	0.0012825	38.74
700	700000	529	0.2645	0.0013225	39.30
710	710000	542	0.271	0.001355	39.86
720	720000	560	0.28	0.0014	40.42
730	730000	577	0.2885	0.0014425	40.98
740	740000	592	0.296	0.00148	41.54
750	750000	612	0.306	0.00153	42.10
760	760000	632	0.316	0.00158	42.67
770	770000	646	0.323	0.001615	43.23
780	780000	660	0.33	0.00165	43.79
790	790000	687	0.3435	0.0017175	44.35
800	800000	699	0.3495	0.0017475	44.91
810	810000	712	0.356	0.00178	45.47
820	820000	732	0.366	0.00183	46.03
830	830000	740	0.37	0.00185	46.59
840	840000	765	0.3825	0.0019125	47.16
850	850000	785	0.3925	0.0019625	47.72
860	860000	795	0.3975	0.0019875	48.28
870	870000	810	0.405	0.002025	48.84

Grafik Modulus Elastisitas BK-SCC1 Sampel 3

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV1Sampel 1

I. Data Benda Uji

No Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	50,03	MPa
Diameter	150.9	mm
Tinggi	302.1	mm
Luas Penampang	17888.89333	mm2
Berat Volume	2309.67024	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

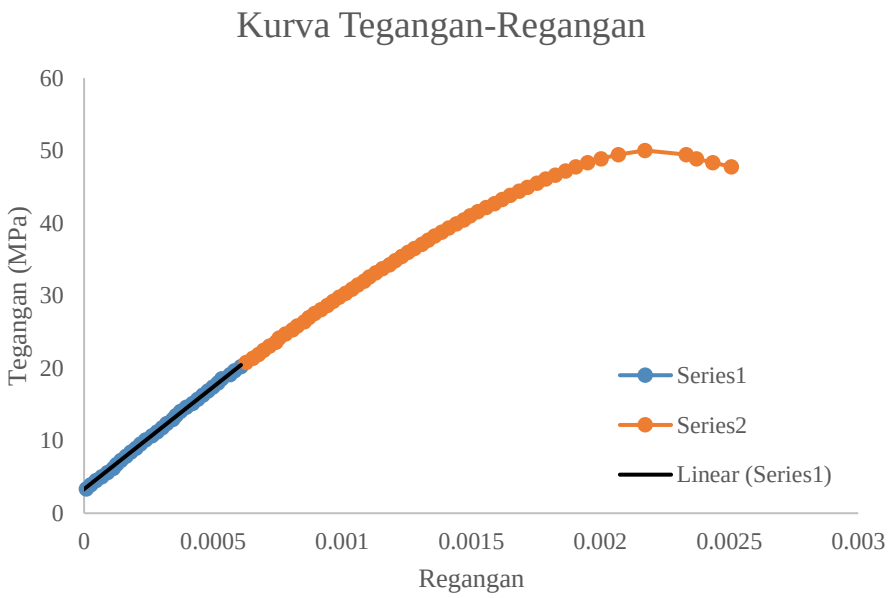
Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	1	0.0005	0.0000025	1.12
30	30000	7	0.0035	0.0000175	1.68
40	40000	18	0.009	0.000045	2.24

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
50	50000	30	0.015	0.000075	2.80
60	60000	40	0.02	0.0001	3.35
70	70000	47	0.0235	0.0001175	3.91
80	80000	55	0.0275	0.0001375	4.47
90	90000	64	0.032	0.00016	5.03
100	100000	73	0.0365	0.0001825	5.59
110	110000	82	0.041	0.000205	6.15
120	120000	87	0.0435	0.0002175	6.71
130	130000	94	0.047	0.000235	7.27
140	140000	102	0.051	0.000255	7.83
150	150000	109	0.0545	0.0002725	8.39
160	160000	117	0.0585	0.0002925	8.94
170	170000	124	0.062	0.00031	9.50
180	180000	132	0.066	0.00033	10.06
190	190000	142	0.071	0.000355	10.62
200	200000	150	0.075	0.000375	11.18
210	210000	158	0.079	0.000395	11.74
220	220000	165	0.0825	0.0004125	12.30
230	230000	174	0.087	0.000435	12.86
240	240000	179	0.0895	0.0004475	13.42
250	250000	186	0.093	0.000465	13.98
260	260000	195	0.0975	0.0004875	14.53
270	270000	205	0.1025	0.0005125	15.09
280	280000	213	0.1065	0.0005325	15.65
290	290000	221	0.1105	0.0005525	16.21
300	300000	229	0.1145	0.0005725	16.77
310	310000	236	0.118	0.00059	17.33
320	320000	244	0.122	0.00061	17.89
330	330000	250	0.125	0.000625	18.45
340	340000	263	0.1315	0.0006575	19.01
350	350000	270	0.135	0.000675	19.57
360	360000	280	0.14	0.0007	20.12
370	370000	288	0.144	0.00072	20.68
380	380000	298	0.149	0.000745	21.24
390	390000	307	0.1535	0.0007675	21.80
400	400000	315	0.1575	0.0007875	22.36
410	410000	324	0.162	0.00081	22.92
420	420000	334	0.167	0.000835	23.48
430	430000	339	0.1695	0.0008475	24.04

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
440	440000	349	0.1745	0.0008725	24.60
450	450000	360	0.18	0.0009	25.16
460	460000	367	0.1835	0.0009175	25.71
470	470000	378	0.189	0.000945	26.27
480	480000	385	0.1925	0.0009625	26.83
490	490000	394	0.197	0.000985	27.39
500	500000	404	0.202	0.00101	27.95
510	510000	414	0.207	0.001035	28.51
520	520000	423	0.2115	0.0010575	29.07
530	530000	432	0.216	0.00108	29.63
540	540000	442	0.221	0.001105	30.19
550	550000	452	0.226	0.00113	30.75
560	560000	461	0.2305	0.0011525	31.30
570	570000	471	0.2355	0.0011775	31.86
580	580000	479	0.2395	0.0011975	32.42
590	590000	489	0.2445	0.0012225	32.98
600	600000	499	0.2495	0.0012475	33.54
610	610000	510	0.255	0.001275	34.10
620	620000	519	0.2595	0.0012975	34.66
630	630000	529	0.2645	0.0013225	35.22
640	640000	539	0.2695	0.0013475	35.78
650	650000	549	0.2745	0.0013725	36.34
660	660000	560	0.28	0.0014	36.89
670	670000	570	0.285	0.001425	37.45
680	680000	580	0.29	0.00145	38.01
690	690000	591	0.2955	0.0014775	38.57
700	700000	602	0.301	0.001505	39.13
710	710000	614	0.307	0.001535	39.69
720	720000	625	0.3125	0.0015625	40.25
730	730000	635	0.3175	0.0015875	40.81
740	740000	647	0.3235	0.0016175	41.37
750	750000	660	0.33	0.00165	41.93
760	760000	673	0.3365	0.0016825	42.48
770	770000	685	0.3425	0.0017125	43.04
780	780000	697	0.3485	0.0017425	43.60
790	790000	711	0.3555	0.0017775	44.16
800	800000	724	0.362	0.00181	44.72
810	810000	739	0.3695	0.0018475	45.28
820	820000	752	0.376	0.00188	45.84

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
830	830000	767	0.3835	0.0019175	46.40
840	840000	783	0.3915	0.0019575	46.96
850	850000	799	0.3995	0.0019975	47.52
860	860000	817	0.4085	0.0020425	48.07
870	870000	838	0.419	0.002095	48.63
880	880000	865	0.4325	0.0021625	49.19
890	890000	906	0.453	0.002265	49.75
880	880000	970	0.485	0.002425	49.19
870	870000	986	0.493	0.002465	48.63
860	860000	1011	0.5055	0.0025275	48.07
850	850000	1040	0.52	0.0026	47.52

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC1 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV1 Sampel 2

I. Data Benda Uji

No Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	46,53	MPa
Diameter	150.7	mm
Tinggi	300.5	mm
Luas Penampang	17839.1444	mm2
Berat Volume	2317.128837	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	8	0.004	0.00002	1.12
30	30000	14	0.007	0.000035	1.68
40	40000	21	0.0105	0.0000525	2.24
50	50000	29	0.0145	0.0000725	2.80
60	60000	35	0.0175	0.0000875	3.35
70	70000	44	0.022	0.00011	3.91
80	80000	51	0.0255	0.0001275	4.47
90	90000	60	0.03	0.00015	5.03
100	100000	69	0.0345	0.0001725	5.59
110	110000	76	0.038	0.00019	6.15
120	120000	84	0.042	0.00021	6.71
130	130000	93	0.0465	0.0002325	7.27
140	140000	101	0.0505	0.0002525	7.83
150	150000	109	0.0545	0.0002725	8.39
160	160000	118	0.059	0.000295	8.94
170	170000	126	0.063	0.000315	9.50
180	180000	134	0.067	0.000335	10.06
190	190000	142	0.071	0.000355	10.62
200	200000	150	0.075	0.000375	11.18
210	210000	158	0.079	0.000395	11.74
220	220000	167	0.0835	0.0004175	12.30
230	230000	174	0.087	0.000435	12.86

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	182	0.091	0.000455	13.42
250	250000	190	0.095	0.000475	13.98
260	260000	197	0.0985	0.0004925	14.53
270	270000	205	0.1025	0.0005125	15.09
280	280000	212	0.106	0.00053	15.65
290	290000	220	0.11	0.00055	16.21
300	300000	228	0.114	0.00057	16.77
310	310000	235	0.1175	0.0005875	17.33
320	320000	242	0.121	0.000605	17.89
330	330000	252	0.126	0.00063	18.45
340	340000	258	0.129	0.000645	19.01
350	350000	266	0.133	0.000665	19.57
360	360000	274	0.137	0.000685	20.12
370	370000	282	0.141	0.000705	20.68
380	380000	290	0.145	0.000725	21.24
390	390000	298	0.149	0.000745	21.80
400	400000	306	0.153	0.000765	22.36
410	410000	311	0.1555	0.0007775	22.92
420	420000	320	0.16	0.0008	23.48
430	430000	329	0.1645	0.0008225	24.04
440	440000	337	0.1685	0.0008425	24.60
450	450000	344	0.172	0.00086	25.16
460	460000	354	0.177	0.000885	25.71
470	470000	362	0.181	0.000905	26.27
480	480000	370	0.185	0.000925	26.83
490	490000	377	0.1885	0.0009425	27.39
500	500000	387	0.1935	0.0009675	27.95
510	510000	396	0.198	0.00099	28.51
520	520000	400	0.2	0.001	29.07
530	530000	413	0.2065	0.0010325	29.63
540	540000	422	0.211	0.001055	30.19
550	550000	431	0.2155	0.0010775	30.75
560	560000	441	0.2205	0.0011025	31.30
570	570000	451	0.2255	0.0011275	31.86
580	580000	460	0.23	0.00115	32.42
590	590000	470	0.235	0.001175	32.98
600	600000	480	0.24	0.0012	33.54
610	610000	492	0.246	0.00123	34.10
620	620000	503	0.2515	0.0012575	34.66

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	513	0.2565	0.0012825	35.22
640	640000	525	0.2625	0.0013125	35.78
650	650000	535	0.2675	0.0013375	36.34
660	660000	548	0.274	0.00137	36.89
670	670000	559	0.2795	0.0013975	37.45
680	680000	571	0.2855	0.0014275	38.01
690	690000	583	0.2915	0.0014575	38.57
700	700000	597	0.2985	0.0014925	39.13
710	710000	609	0.3045	0.0015225	39.69
720	720000	622	0.311	0.001555	40.25
730	730000	637	0.3185	0.0015925	40.81
740	740000	651	0.3255	0.0016275	41.37
750	750000	667	0.3335	0.0016675	41.93
760	760000	681	0.3405	0.0017025	42.48
770	770000	697	0.3485	0.0017425	43.04
780	780000	716	0.358	0.00179	43.60
790	790000	735	0.3675	0.0018375	44.16
800	800000	757	0.3785	0.0018925	44.72
810	810000	779	0.3895	0.0019475	45.28
820	820000	809	0.4045	0.0020225	45.84
830	830000	868	0.434	0.00217	46.40
820	820000	950	0.475	0.002375	45.84
810	810000	972	0.486	0.00243	45.28
800	800000	982	0.491	0.002455	44.72

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC1 Sampel 2

Kurva Tegangan-Regangan
Tegangan (MPa)
50
40
30
20
10
0
0
0.0005
0.001
0.0015
0.002
0.0025
0.003
Regangan
Series1
Series2
Linear (Series1)

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV1 Sampel 3

I. Data Benda Uji

No Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	46,29	MPa
Diameter	150.9	mm
Tinggi	300.9	mm
Luas Penampang	17888.89333	mm2
Berat Volume	2311.405496	kg/m3
Lo	200	mm

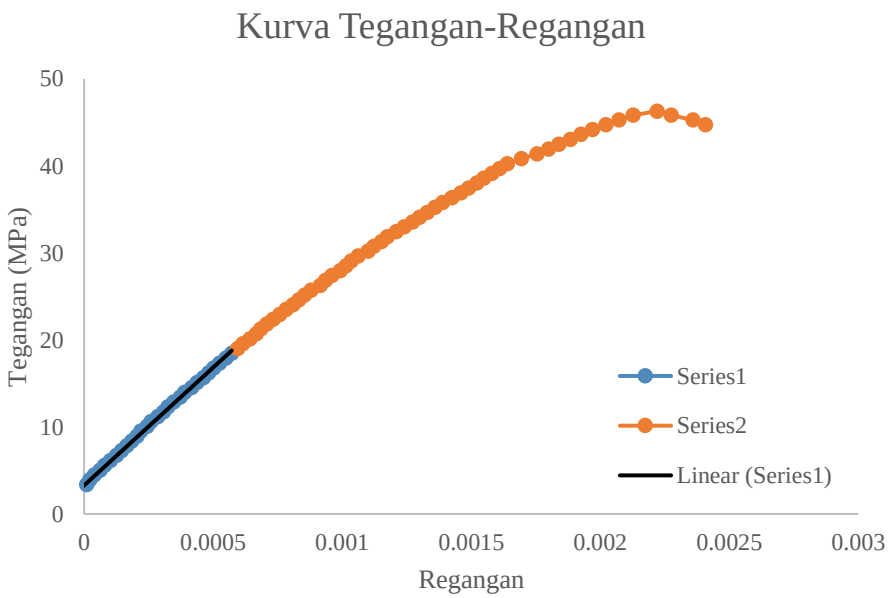
II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	8	0.004	0.00002	1.12
30	30000	13	0.0065	0.0000325	1.68
40	40000	22	0.011	0.000055	2.24
50	50000	30	0.015	0.000075	2.80
60	60000	39	0.0195	0.0000975	3.35
70	70000	44	0.022	0.00011	3.91
80	80000	51	0.0255	0.0001275	4.47
90	90000	60	0.03	0.00015	5.03
100	100000	67	0.0335	0.0001675	5.59
110	110000	76	0.038	0.00019	6.15
120	120000	85	0.0425	0.0002125	6.71
130	130000	93	0.0465	0.0002325	7.27
140	140000	101	0.0505	0.0002525	7.83
150	150000	109	0.0545	0.0002725	8.39
160	160000	117	0.0585	0.0002925	8.94
170	170000	123	0.0615	0.0003075	9.50
180	180000	133	0.0665	0.0003325	10.06
190	190000	139	0.0695	0.0003475	10.62
200	200000	149	0.0745	0.0003725	11.18
210	210000	158	0.079	0.000395	11.74
220	220000	165	0.0825	0.0004125	12.30
230	230000	174	0.087	0.000435	12.86

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	184	0.092	0.00046	13.42
250	250000	191	0.0955	0.0004775	13.98
260	260000	202	0.101	0.000505	14.53
270	270000	210	0.105	0.000525	15.09
280	280000	220	0.11	0.00055	15.65
290	290000	228	0.114	0.00057	16.21
300	300000	236	0.118	0.00059	16.77
310	310000	245	0.1225	0.0006125	17.33
320	320000	255	0.1275	0.0006375	17.89
330	330000	264	0.132	0.00066	18.45
340	340000	273	0.1365	0.0006825	19.01
350	350000	281	0.1405	0.0007025	19.57
360	360000	292	0.146	0.00073	20.12
370	370000	302	0.151	0.000755	20.68
380	380000	309	0.1545	0.0007725	21.24
390	390000	318	0.159	0.000795	21.80
400	400000	328	0.164	0.00082	22.36
410	410000	338	0.169	0.000845	22.92
420	420000	348	0.174	0.00087	23.48
430	430000	359	0.1795	0.0008975	24.04
440	440000	368	0.184	0.00092	24.60
450	450000	377	0.1885	0.0009425	25.16
460	460000	387	0.1935	0.0009675	25.71
470	470000	401	0.2005	0.0010025	26.27
480	480000	409	0.2045	0.0010225	26.83
490	490000	419	0.2095	0.0010475	27.39
500	500000	432	0.216	0.00108	27.95
510	510000	441	0.2205	0.0011025	28.51
520	520000	449	0.2245	0.0011225	29.07
530	530000	460	0.23	0.00115	29.63
540	540000	475	0.2375	0.0011875	30.19
550	550000	484	0.242	0.00121	30.75
560	560000	496	0.248	0.00124	31.30
570	570000	505	0.2525	0.0012625	31.86
580	580000	519	0.2595	0.0012975	32.42
590	590000	531	0.2655	0.0013275	32.98
600	600000	544	0.272	0.00136	33.54
610	610000	555	0.2775	0.0013875	34.10
620	620000	567	0.2835	0.0014175	34.66

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	579	0.2895	0.0014475	35.22
640	640000	591	0.2955	0.0014775	35.78
650	650000	605	0.3025	0.0015125	36.34
660	660000	619	0.3095	0.0015475	36.89
670	670000	631	0.3155	0.0015775	37.45
680	680000	644	0.322	0.00161	38.01
690	690000	655	0.3275	0.0016375	38.57
700	700000	667	0.3335	0.0016675	39.13
710	710000	679	0.3395	0.0016975	39.69
720	720000	691	0.3455	0.0017275	40.25
730	730000	713	0.3565	0.0017825	40.81
740	740000	737	0.3685	0.0018425	41.37
750	750000	755	0.3775	0.0018875	41.93
760	760000	771	0.3855	0.0019275	42.48
770	770000	789	0.3945	0.0019725	43.04
780	780000	805	0.4025	0.0020125	43.60
790	790000	823	0.4115	0.0020575	44.16
800	800000	844	0.422	0.00211	44.72
810	810000	864	0.432	0.00216	45.28
820	820000	886	0.443	0.002215	45.84
828	828000	923	0.4615	0.0023075	46.29
820	820000	945	0.4725	0.0023625	45.84
810	810000	979	0.4895	0.0024475	45.28
800	800000	998	0.499	0.002495	44.72

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC1 Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV2 Sampel 1

I. Data Benda Uji

No Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	49,19	MPa
Diameter	150.9	mm
Tinggi	302.1	mm
Luas Penampang	17888.89333	mm2
Berat Volume	2361.666502	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	6	0.003	0.000015	1.12
30	30000	13	0.0065	0.0000325	1.68
40	40000	18	0.009	0.000045	2.24
50	50000	24	0.012	0.00006	2.80
60	60000	31	0.0155	0.0000775	3.35
70	70000	38	0.019	0.000095	3.91
80	80000	45	0.0225	0.0001125	4.47
90	90000	51	0.0255	0.0001275	5.03
100	100000	59	0.0295	0.0001475	5.59
110	110000	65	0.0325	0.0001625	6.15
120	120000	74	0.037	0.000185	6.71
130	130000	80	0.04	0.0002	7.27
140	140000	89	0.0445	0.0002225	7.83
150	150000	96	0.048	0.00024	8.39
160	160000	105	0.0525	0.0002625	8.94
170	170000	113	0.0565	0.0002825	9.50
180	180000	120	0.06	0.0003	10.06
190	190000	126	0.063	0.000315	10.62
200	200000	134	0.067	0.000335	11.18
210	210000	143	0.0715	0.0003575	11.74
220	220000	150	0.075	0.000375	12.30
230	230000	157	0.0785	0.0003925	12.86

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	164	0.082	0.00041	13.42
250	250000	172	0.086	0.00043	13.98
260	260000	180	0.09	0.00045	14.53
270	270000	189	0.0945	0.0004725	15.09
280	280000	195	0.0975	0.0004875	15.65
290	290000	203	0.1015	0.0005075	16.21
300	300000	212	0.106	0.00053	16.77
310	310000	220	0.11	0.00055	17.33
320	320000	228	0.114	0.00057	17.89
330	330000	235	0.1175	0.0005875	18.45
340	340000	244	0.122	0.00061	19.01
350	350000	252	0.126	0.00063	19.57
360	360000	260	0.13	0.00065	20.12
370	370000	268	0.134	0.00067	20.68
380	380000	276	0.138	0.00069	21.24
390	390000	285	0.1425	0.0007125	21.80
400	400000	292	0.146	0.00073	22.36
410	410000	300	0.15	0.00075	22.92
420	420000	310	0.155	0.000775	23.48
430	430000	318	0.159	0.000795	24.04
440	440000	328	0.164	0.00082	24.60
450	450000	335	0.1675	0.0008375	25.16
460	460000	345	0.1725	0.0008625	25.71
470	470000	354	0.177	0.000885	26.27
480	480000	362	0.181	0.000905	26.83
490	490000	370	0.185	0.000925	27.39
500	500000	380	0.19	0.00095	27.95
510	510000	390	0.195	0.000975	28.51
520	520000	399	0.1995	0.0009975	29.07
530	530000	408	0.204	0.00102	29.63
540	540000	416	0.208	0.00104	30.19
550	550000	426	0.213	0.001065	30.75
560	560000	436	0.218	0.00109	31.30
570	570000	446	0.223	0.001115	31.86
580	580000	456	0.228	0.00114	32.42
590	590000	466	0.233	0.001165	32.98
600	600000	476	0.238	0.00119	33.54
610	610000	486	0.243	0.001215	34.10
620	620000	495	0.2475	0.0012375	34.66

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	505	0.2525	0.0012625	35.22
640	640000	516	0.258	0.00129	35.78
650	650000	528	0.264	0.00132	36.34
660	660000	538	0.269	0.001345	36.89
670	670000	549	0.2745	0.0013725	37.45
680	680000	562	0.281	0.001405	38.01
690	690000	570	0.285	0.001425	38.57
700	700000	581	0.2905	0.0014525	39.13
710	710000	593	0.2965	0.0014825	39.69
720	720000	604	0.302	0.00151	40.25
730	730000	617	0.3085	0.0015425	40.81
740	740000	630	0.315	0.001575	41.37
750	750000	641	0.3205	0.0016025	41.93
760	760000	654	0.327	0.001635	42.48
770	770000	667	0.3335	0.0016675	43.04
780	780000	680	0.34	0.0017	43.60
790	790000	695	0.3475	0.0017375	44.16
800	800000	704	0.352	0.00176	44.72
810	810000	724	0.362	0.00181	45.28
820	820000	741	0.3705	0.0018525	45.84
830	830000	757	0.3785	0.0018925	46.40
840	840000	773	0.3865	0.0019325	46.96
850	850000	785	0.3925	0.0019625	47.52
860	860000	802	0.401	0.002005	48.07
870	870000	821	0.4105	0.0020525	48.63
880	880000	852	0.426	0.00213	49.19
870	870000	909	0.4545	0.0022725	48.63

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC2 Sampel 1

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV2 Sampel 2

I. Data Benda Uji

No Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	49,25	MPa
Diameter	151.0	mm
Tinggi	300,9	mm
Luas Penampang	17907.86352	mm2
Berat Volume	2320.059367	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	2	0.001	0.000005	0.56
20	20000	7	0.0035	0.0000175	1.12
30	30000	13	0.0065	0.0000325	1.68
40	40000	18	0.009	0.000045	2.23
50	50000	23	0.0115	0.0000575	2.79
60	60000	31	0.0155	0.0000775	3.35
70	70000	38	0.019	0.000095	3.91
80	80000	44	0.022	0.00011	4.47
90	90000	52	0.026	0.00013	5.03
100	100000	59	0.0295	0.0001475	5.58
110	110000	66	0.033	0.000165	6.14
120	120000	74	0.037	0.000185	6.70
130	130000	81	0.0405	0.0002025	7.26
140	140000	88	0.044	0.00022	7.82
150	150000	95	0.0475	0.0002375	8.38
160	160000	104	0.052	0.00026	8.93
170	170000	110	0.055	0.000275	9.49
180	180000	119	0.0595	0.0002975	10.05
190	190000	127	0.0635	0.0003175	10.61
200	200000	133	0.0665	0.0003325	11.17
210	210000	141	0.0705	0.0003525	11.73
220	220000	149	0.0745	0.0003725	12.29
230	230000	159	0.0795	0.0003975	12.84

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	166	0.083	0.000415	13.40
250	250000	172	0.086	0.00043	13.96
260	260000	180	0.09	0.00045	14.52
270	270000	188	0.094	0.00047	15.08
280	280000	195	0.0975	0.0004875	15.64
290	290000	202	0.101	0.000505	16.19
300	300000	211	0.1055	0.0005275	16.75
310	310000	219	0.1095	0.0005475	17.31
320	320000	228	0.114	0.00057	17.87
330	330000	235	0.1175	0.0005875	18.43
340	340000	243	0.1215	0.0006075	18.99
350	350000	251	0.1255	0.0006275	19.54
360	360000	259	0.1295	0.0006475	20.10
370	370000	268	0.134	0.00067	20.66
380	380000	275	0.1375	0.0006875	21.22
390	390000	283	0.1415	0.0007075	21.78
400	400000	293	0.1465	0.0007325	22.34
410	410000	300	0.15	0.00075	22.89
420	420000	309	0.1545	0.0007725	23.45
430	430000	317	0.1585	0.0007925	24.01
440	440000	327	0.1635	0.0008175	24.57
450	450000	334	0.167	0.000835	25.13
460	460000	344	0.172	0.00086	25.69
470	470000	353	0.1765	0.0008825	26.25
480	480000	361	0.1805	0.0009025	26.80
490	490000	370	0.185	0.000925	27.36
500	500000	380	0.19	0.00095	27.92
510	510000	389	0.1945	0.0009725	28.48
520	520000	397	0.1985	0.0009925	29.04
530	530000	409	0.2045	0.0010225	29.60
540	540000	417	0.2085	0.0010425	30.15
550	550000	427	0.2135	0.0010675	30.71
560	560000	436	0.218	0.00109	31.27
570	570000	446	0.223	0.001115	31.83
580	580000	456	0.228	0.00114	32.39
590	590000	466	0.233	0.001165	32.95
600	600000	476	0.238	0.00119	33.50
610	610000	486	0.243	0.001215	34.06
620	620000	496	0.248	0.00124	34.62

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	506	0.253	0.001265	35.18
640	640000	516	0.258	0.00129	35.74
650	650000	529	0.2645	0.0013225	36.30
660	660000	539	0.2695	0.0013475	36.86
670	670000	550	0.275	0.001375	37.41
680	680000	561	0.2805	0.0014025	37.97
690	690000	571	0.2855	0.0014275	38.53
700	700000	581	0.2905	0.0014525	39.09
710	710000	593	0.2965	0.0014825	39.65
720	720000	605	0.3025	0.0015125	40.21
730	730000	616	0.308	0.00154	40.76
740	740000	629	0.3145	0.0015725	41.32
750	750000	640	0.32	0.0016	41.88
760	760000	655	0.3275	0.0016375	42.44
770	770000	667	0.3335	0.0016675	43.00
780	780000	680	0.34	0.0017	43.56
790	790000	694	0.347	0.001735	44.11
800	800000	709	0.3545	0.0017725	44.67
810	810000	725	0.3625	0.0018125	45.23
820	820000	741	0.3705	0.0018525	45.79
830	830000	758	0.379	0.001895	46.35
840	840000	772	0.386	0.00193	46.91
850	850000	785	0.3925	0.0019625	47.47
860	860000	802	0.401	0.002005	48.02
870	870000	822	0.411	0.002055	48.58
882	882000	854	0.427	0.002135	49.25

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC2 Sampel 2

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV2 Sampel 3

I. Data Benda Uji

No Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	52,43	MPa
Diameter	150,1	mm
Tinggi	300,1	mm
Luas Penampang	17699.74432	mm2
Berat Volume	2353.518215	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	5	0.0025	0.0000125	1.13
30	30000	11	0.0055	0.0000275	1.69
40	40000	19	0.0095	0.0000475	2.26
50	50000	25	0.0125	0.0000625	2.82
60	60000	30	0.015	0.000075	3.39
70	70000	35	0.0175	0.0000875	3.95
80	80000	42	0.021	0.000105	4.52
90	90000	49	0.0245	0.0001225	5.08
100	100000	55	0.0275	0.0001375	5.65
110	110000	60	0.03	0.00015	6.21
120	120000	68	0.034	0.00017	6.78
130	130000	72	0.036	0.00018	7.34
140	140000	80	0.04	0.0002	7.91
150	150000	84	0.042	0.00021	8.47
160	160000	91	0.0455	0.0002275	9.04
170	170000	96	0.048	0.00024	9.60
180	180000	102	0.051	0.000255	10.17
190	190000	109	0.0545	0.0002725	10.73
200	200000	115	0.0575	0.0002875	11.30
210	210000	120	0.06	0.0003	11.86
220	220000	128	0.064	0.00032	12.43
230	230000	135	0.0675	0.0003375	12.99

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	141	0.0705	0.0003525	13.56
250	250000	148	0.074	0.00037	14.12
260	260000	155	0.0775	0.0003875	14.69
270	270000	162	0.081	0.000405	15.25
280	280000	168	0.084	0.00042	15.82
290	290000	175	0.0875	0.0004375	16.38
300	300000	180	0.09	0.00045	16.95
310	310000	188	0.094	0.00047	17.51
320	320000	194	0.097	0.000485	18.08
330	330000	202	0.101	0.000505	18.64
340	340000	209	0.1045	0.0005225	19.21
350	350000	216	0.108	0.00054	19.77
360	360000	223	0.1115	0.0005575	20.34
370	370000	230	0.115	0.000575	20.90
380	380000	237	0.1185	0.0005925	21.47
390	390000	244	0.122	0.00061	22.03
400	400000	252	0.126	0.00063	22.60
410	410000	258	0.129	0.000645	23.16
420	420000	267	0.1335	0.0006675	23.73
430	430000	273	0.1365	0.0006825	24.29
440	440000	280	0.14	0.0007	24.86
450	450000	285	0.1425	0.0007125	25.42
460	460000	293	0.1465	0.0007325	25.99
470	470000	300	0.15	0.00075	26.55
480	480000	308	0.154	0.00077	27.12
490	490000	314	0.157	0.000785	27.68
500	500000	316	0.158	0.00079	28.25
510	510000	324	0.162	0.00081	28.81
520	520000	330	0.165	0.000825	29.38
530	530000	338	0.169	0.000845	29.94
540	540000	344	0.172	0.00086	30.51
550	550000	350	0.175	0.000875	31.07
560	560000	359	0.1795	0.0008975	31.64
570	570000	366	0.183	0.000915	32.20
580	580000	372	0.186	0.00093	32.77
590	590000	380	0.19	0.00095	33.33
600	600000	389	0.1945	0.0009725	33.90
610	610000	397	0.1985	0.0009925	34.46
620	620000	405	0.2025	0.0010125	35.03

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	411	0.2055	0.0010275	35.59
640	640000	420	0.21	0.00105	36.16
650	650000	430	0.215	0.001075	36.72
660	660000	438	0.219	0.001095	37.29
670	670000	447	0.2235	0.0011175	37.85
680	680000	455	0.2275	0.0011375	38.42
690	690000	464	0.232	0.00116	38.98
700	700000	473	0.2365	0.0011825	39.55
710	710000	483	0.2415	0.0012075	40.11
720	720000	493	0.2465	0.0012325	40.68
730	730000	501	0.2505	0.0012525	41.24
740	740000	512	0.256	0.00128	41.81
750	750000	522	0.261	0.001305	42.37
760	760000	534	0.267	0.001335	42.94
770	770000	544	0.272	0.00136	43.50
780	780000	558	0.279	0.001395	44.07
790	790000	568	0.284	0.00142	44.63
800	800000	578	0.289	0.001445	45.20
810	810000	587	0.2935	0.0014675	45.76
820	820000	599	0.2995	0.0014975	46.33
830	830000	612	0.306	0.00153	46.89
840	840000	624	0.312	0.00156	47.46
850	850000	638	0.319	0.001595	48.02
860	860000	652	0.326	0.00163	48.59
870	870000	667	0.3335	0.0016675	49.15
880	880000	680	0.34	0.0017	49.72
890	890000	698	0.349	0.001745	50.28
900	900000	718	0.359	0.001795	50.85
910	910000	738	0.369	0.001845	51.41
920	920000	762	0.381	0.001905	51.98
928	928000	804	0.402	0.00201	52.43
920	920000	830	0.415	0.002075	51.98
910	910000	859	0.4295	0.0021475	51.41
900	900000	889	0.4445	0.0022225	50.85

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC2 Sampel 3

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV3 Sampel 1

I. Data Benda Uji

No Sampel	1	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	46,27	MPa
Diameter	150,2	mm
Tinggi	300,7	mm
Luas Penampang	17723.33297	mm2
Berat Volume	2311.736064	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	1	0.0005	0.0000025	0.56
20	20000	5	0.0025	0.0000125	1.13
30	30000	9	0.0045	0.0000225	1.69
40	40000	14	0.007	0.000035	2.26
50	50000	17	0.0085	0.0000425	2.82
60	60000	21	0.0105	0.0000525	3.39
70	70000	25	0.0125	0.0000625	3.95
80	80000	29	0.0145	0.0000725	4.51
90	90000	34	0.017	0.000085	5.08
100	100000	38	0.019	0.000095	5.64
110	110000	42	0.021	0.000105	6.21
120	120000	48	0.024	0.00012	6.77
130	130000	53	0.0265	0.0001325	7.33
140	140000	58	0.029	0.000145	7.90
150	150000	63	0.0315	0.0001575	8.46
160	160000	69	0.0345	0.0001725	9.03
170	170000	72	0.036	0.00018	9.59
180	180000	78	0.039	0.000195	10.16
190	190000	82	0.041	0.000205	10.72
200	200000	88	0.044	0.00022	11.28
210	210000	93	0.0465	0.0002325	11.85
220	220000	99	0.0495	0.0002475	12.41
230	230000	104	0.052	0.00026	12.98

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	109	0.0545	0.0002725	13.54
250	250000	114	0.057	0.000285	14.11
260	260000	119	0.0595	0.0002975	14.67
270	270000	125	0.0625	0.0003125	15.23
280	280000	130	0.065	0.000325	15.80
290	290000	137	0.0685	0.0003425	16.36
300	300000	142	0.071	0.000355	16.93
310	310000	148	0.074	0.00037	17.49
320	320000	152	0.076	0.00038	18.06
330	330000	160	0.08	0.0004	18.62
340	340000	167	0.0835	0.0004175	19.18
350	350000	170	0.085	0.000425	19.75
360	360000	178	0.089	0.000445	20.31
370	370000	180	0.09	0.00045	20.88
380	380000	187	0.0935	0.0004675	21.44
390	390000	191	0.0955	0.0004775	22.00
400	400000	200	0.1	0.0005	22.57
410	410000	206	0.103	0.000515	23.13
420	420000	211	0.1055	0.0005275	23.70
430	430000	219	0.1095	0.0005475	24.26
440	440000	225	0.1125	0.0005625	24.83
450	450000	230	0.115	0.000575	25.39
460	460000	239	0.1195	0.0005975	25.95
470	470000	245	0.1225	0.0006125	26.52
480	480000	252	0.126	0.00063	27.08
490	490000	259	0.1295	0.0006475	27.65
500	500000	266	0.133	0.000665	28.21
510	510000	272	0.136	0.00068	28.78
520	520000	279	0.1395	0.0006975	29.34
530	530000	286	0.143	0.000715	29.90
540	540000	294	0.147	0.000735	30.47
550	550000	300	0.15	0.00075	31.03
560	560000	310	0.155	0.000775	31.60
570	570000	319	0.1595	0.0007975	32.16
580	580000	328	0.164	0.00082	32.73
590	590000	337	0.1685	0.0008425	33.29
600	600000	349	0.1745	0.0008725	33.85
610	610000	358	0.179	0.000895	34.42
620	620000	368	0.184	0.00092	34.98

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	378	0.189	0.000945	35.55
640	640000	387	0.1935	0.0009675	36.11
650	650000	398	0.199	0.000995	36.67
660	660000	406	0.203	0.001015	37.24
670	670000	414	0.207	0.001035	37.80
680	680000	427	0.2135	0.0010675	38.37
690	690000	440	0.22	0.0011	38.93
700	700000	454	0.227	0.001135	39.50
710	710000	469	0.2345	0.0011725	40.06
720	720000	485	0.2425	0.0012125	40.62
730	730000	501	0.2505	0.0012525	41.19
740	740000	516	0.258	0.00129	41.75
750	750000	531	0.2655	0.0013275	42.32
760	760000	544	0.272	0.00136	42.88
770	770000	561	0.2805	0.0014025	43.45
780	780000	577	0.2885	0.0014425	44.01
790	790000	596	0.298	0.00149	44.57
800	800000	615	0.3075	0.0015375	45.14
810	810000	634	0.317	0.001585	45.70
820	820000	654	0.327	0.001635	46.27

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC3 Sampel 1

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV3 Sampel 2

I. Data Benda Uji

No Sampel	2	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	44.67	MPa
Diameter	150,1	mm
Tinggi	300,9	mm
Luas Penampang	17709.17789	mm2
Berat Volume	2326.682944	kg/m3
Lo	200	mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	3	0.0015	0.0000075	0.56
20	20000	7	0.0035	0.0000175	1.13
30	30000	14	0.007	0.000035	1.69
40	40000	23	0.0115	0.0000575	2.26
50	50000	34	0.017	0.000085	2.82
60	60000	44	0.022	0.00011	3.39
70	70000	52	0.026	0.00013	3.95
80	80000	60	0.03	0.00015	4.52
90	90000	70	0.035	0.000175	5.08
100	100000	80	0.04	0.0002	5.65
110	110000	89	0.0445	0.0002225	6.21
120	120000	97	0.0485	0.0002425	6.78
130	130000	106	0.053	0.000265	7.34
140	140000	118	0.059	0.000295	7.91
150	150000	128	0.064	0.00032	8.47
160	160000	136	0.068	0.00034	9.03
170	170000	146	0.073	0.000365	9.60
180	180000	156	0.078	0.00039	10.16
190	190000	166	0.083	0.000415	10.73
200	200000	176	0.088	0.00044	11.29
210	210000	186	0.093	0.000465	11.86
220	220000	196	0.098	0.00049	12.42
230	230000	206	0.103	0.000515	12.99

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	217	0.1085	0.0005425	13.55
250	250000	226	0.113	0.000565	14.12
260	260000	237	0.1185	0.0005925	14.68
270	270000	247	0.1235	0.0006175	15.25
280	280000	256	0.128	0.00064	15.81
290	290000	267	0.1335	0.0006675	16.38
300	300000	277	0.1385	0.0006925	16.94
310	310000	287	0.1435	0.0007175	17.51
320	320000	299	0.1495	0.0007475	18.07
330	330000	309	0.1545	0.0007725	18.63
340	340000	310	0.155	0.000775	19.20
350	350000	317	0.1585	0.0007925	19.76
360	360000	327	0.1635	0.0008175	20.33
370	370000	334	0.167	0.000835	20.89
380	380000	344	0.172	0.00086	21.46
390	390000	353	0.1765	0.0008825	22.02
400	400000	361	0.1805	0.0009025	22.59
410	410000	370	0.185	0.000925	23.15
420	420000	380	0.19	0.00095	23.72
430	430000	389	0.1945	0.0009725	24.28
440	440000	397	0.1985	0.0009925	24.85
450	450000	409	0.2045	0.0010225	25.41
460	460000	417	0.2085	0.0010425	25.98
470	470000	427	0.2135	0.0010675	26.54
480	480000	436	0.218	0.00109	27.10
490	490000	446	0.223	0.001115	27.67
500	500000	456	0.228	0.00114	28.23
510	510000	466	0.233	0.001165	28.80
520	520000	476	0.238	0.00119	29.36
530	530000	486	0.243	0.001215	29.93
540	540000	496	0.248	0.00124	30.49
550	550000	505	0.2525	0.0012625	31.06
560	560000	514	0.257	0.001285	31.62
570	570000	521	0.2605	0.0013025	32.19
580	580000	530	0.265	0.001325	32.75
590	590000	539	0.2695	0.0013475	33.32
600	600000	550	0.275	0.001375	33.88
610	610000	561	0.2805	0.0014025	34.45
620	620000	571	0.2855	0.0014275	35.01

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	581	0.2905	0.0014525	35.57
640	640000	593	0.2965	0.0014825	36.14
650	650000	605	0.3025	0.0015125	36.70
660	660000	616	0.308	0.00154	37.27
670	670000	630	0.315	0.001575	37.83
680	680000	640	0.32	0.0016	38.40
690	690000	652	0.326	0.00163	38.96
700	700000	667	0.3335	0.0016675	39.53
710	710000	681	0.3405	0.0017025	40.09
720	720000	697	0.3485	0.0017425	40.66
730	730000	719	0.3595	0.0017975	41.22
740	740000	737	0.3685	0.0018425	41.79
750	750000	762	0.381	0.001905	42.35
760	760000	772	0.386	0.00193	42.92
770	770000	785	0.3925	0.0019625	43.48
780	780000	802	0.401	0.002005	44.04
791	791000	822	0.411	0.002055	44.67

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC3 Sampel 2

Modulus Elastisitas Beton SCC Mutu Tinggi BV3 Sampel 3

I. Data Benda Uji

No Sampel	3	
Umur Uji	28	Hari
Kadar Abu	-	%
Mutu Rencana	45	MPa
Mutu Hasil Uji	39,61	MPa
Diameter	150,3	mm
Tinggi	300,3	mm
Luas Penampang	17749.29862	mm2
Berat Volume	2305.757973	kg/m3
Lo	200	mm

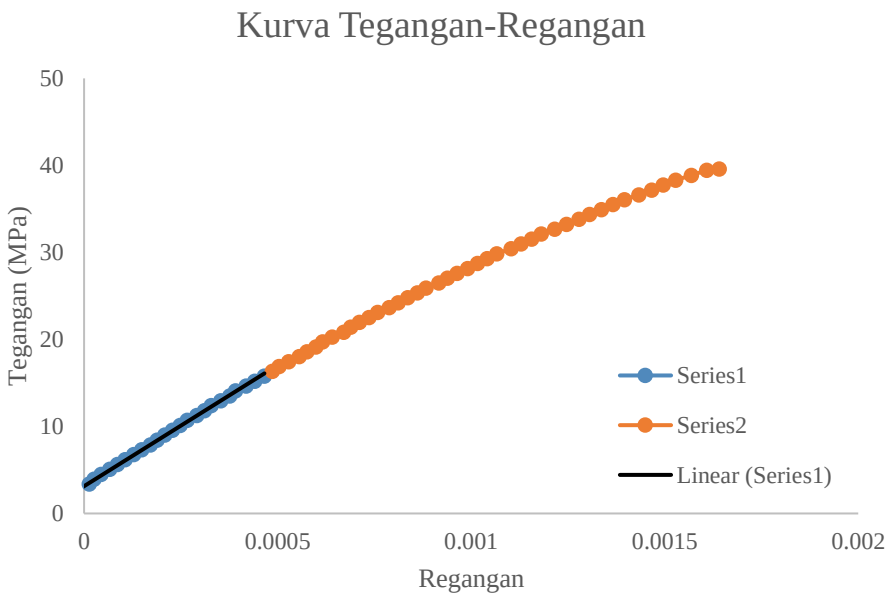
II. Data Hasil Pengujian

Beban		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
KN	N	…. × 10^{-3} mm	(1/2ΔL) mm	(ΔL/Lo) mm	(P/A) MPa
10	10000	0	0	0	0.56
20	20000	8	0.004	0.00002	1.13
30	30000	14	0.007	0.000035	1.69
40	40000	22	0.011	0.000055	2.25
50	50000	30	0.015	0.000075	2.82
60	60000	39	0.0195	0.0000975	3.38
70	70000	44	0.022	0.00011	3.94
80	80000	51	0.0255	0.0001275	4.51
90	90000	60	0.03	0.00015	5.07
100	100000	68	0.034	0.00017	5.63
110	110000	76	0.038	0.00019	6.20
120	120000	85	0.0425	0.0002125	6.76
130	130000	93	0.0465	0.0002325	7.32
140	140000	102	0.051	0.000255	7.89
150	150000	109	0.0545	0.0002725	8.45
160	160000	117	0.0585	0.0002925	9.01
170	170000	125	0.0625	0.0003125	9.58
180	180000	133	0.0665	0.0003325	10.14
190	190000	140	0.07	0.00035	10.70
200	200000	150	0.075	0.000375	11.27
210	210000	158	0.079	0.000395	11.83
220	220000	165	0.0825	0.0004125	12.39
230	230000	175	0.0875	0.0004375	12.96

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
240	240000	184	0.092	0.00046	13.52
250	250000	190	0.095	0.000475	14.09
260	260000	201	0.1005	0.0005025	14.65
270	270000	210	0.105	0.000525	15.21
280	280000	220	0.11	0.00055	15.78
290	290000	228	0.114	0.00057	16.34
300	300000	235	0.1175	0.0005875	16.90
310	310000	245	0.1225	0.0006125	17.47
320	320000	256	0.128	0.00064	18.03
330	330000	264	0.132	0.00066	18.59
340	340000	273	0.1365	0.0006825	19.16
350	350000	280	0.14	0.0007	19.72
360	360000	290	0.145	0.000725	20.28
370	370000	302	0.151	0.000755	20.85
380	380000	309	0.1545	0.0007725	21.41
390	390000	318	0.159	0.000795	21.97
400	400000	328	0.164	0.00082	22.54
410	410000	337	0.1685	0.0008425	23.10
420	420000	349	0.1745	0.0008725	23.66
430	430000	358	0.179	0.000895	24.23
440	440000	368	0.184	0.00092	24.79
450	450000	378	0.189	0.000945	25.35
460	460000	387	0.1935	0.0009675	25.92
470	470000	400	0.2	0.001	26.48
480	480000	409	0.2045	0.0010225	27.04
490	490000	419	0.2095	0.0010475	27.61
500	500000	430	0.215	0.001075	28.17
510	510000	440	0.22	0.0011	28.73
520	520000	450	0.225	0.001125	29.30
530	530000	460	0.23	0.00115	29.86
540	540000	475	0.2375	0.0011875	30.42
550	550000	485	0.2425	0.0012125	30.99
560	560000	496	0.248	0.00124	31.55
570	570000	506	0.253	0.001265	32.11
580	580000	520	0.26	0.0013	32.68
590	590000	532	0.266	0.00133	33.24
600	600000	545	0.2725	0.0013625	33.80
610	610000	556	0.278	0.00139	34.37
620	620000	568	0.284	0.00142	34.93

Beban		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
630	630000	580	0.29	0.00145	35.49
640	640000	592	0.296	0.00148	36.06
650	650000	607	0.3035	0.0015175	36.62
660	660000	620	0.31	0.00155	37.18
670	670000	632	0.316	0.00158	37.75
680	680000	645	0.3225	0.0016125	38.31
690	690000	661	0.3305	0.0016525	38.87
700	700000	677	0.3385	0.0016925	39.44
703	703000	690	0.345	0.001725	39.61

Grafik Modulus Elastisitas BV-SCC3 Sampel 3



Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian

Gambar Lampiran 8.1 Alat Penelitian

Gambar Lampiran 8.2 Bahan Penelitian

Gambar Lampiran 8.3 Bahan Penelitian (POFA)

Gambar Lampiran 8.4 Proses Pencampuran Beton

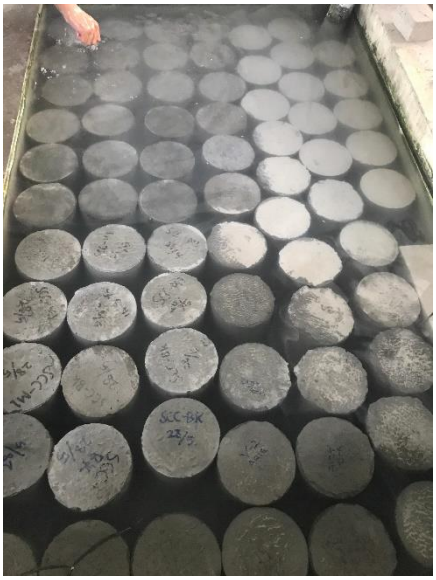
Gambar Lampiran 8.5 Proses Penuangan Beton

Gambar Lampiran 8.6 Proses Pengujian *Slump-flow*

Gambar Lampiran 8.7 Hasil Pengujian *Slump-flow*

Gambar Lampiran 8.8 Proses Pengujian *V-funnel*

Gambar Lampiran 8.9 Proses Cetak Beton



Gambar Lampiran 8.10 Proses Perendaman Beton

Gambar Lampiran 8.11 Proses Caping Beton

Gambar Lampiran 8.12 Proses Pengujian Kuat Tekan Beton

Gambar Lampiran 8.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Gambar Lampiran 8.14 Proses Pengujian Kuat Tarik Beton

Gambar Lampiran 8.15 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton