

TUGAS AKHIR

PENGARUH ZEOLIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON SCC MUTU TINGGI (*EFFECT OF ZEOLITE AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH SCC CONCRETE*)

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



**BAYU PAMUNGKAS
20511065**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH ZEOLIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON SCC MUTU TINGGI (EFFECT OF ZEOLITE AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH SCC CONCRETE)

Disusun oleh:

Bayu Pamungkas
20511065

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

Diuji pada tanggal 21 Februari 2025
Oleh Dewan Penguji



Pembimbing

Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.
NIK: 855110201

Tanggal: 27/02/2025

Penguji I

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

Tanggal: 27. 02. 2025 .

Penguji II

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.
NIK: 185111304

Tanggal: 27/02/ 2025

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

28 / 2 2025

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya 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 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, 2024

Yang membuat pernyataan,



Bayu Pamungkas

(20511065)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu 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. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak saran dan kritik selama proses pembuatan Tugas Akhir ini,
3. Orang tua yang selalu menjadi sosok luar biasa dalam memberikan semangat, dukungan, doa, dan kasih sayang untuk keberhasilan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik, dan
4. Teman-teman yang selalu menguatkan untuk tidak menyerah dan membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, berharap dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 2024
Penulis,

Bayu Pamungkas
(20511065)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Beton Memadat Sendiri (<i>Self Compacting Concrete</i>)	14
3.2 Material Penyusun Beton SCC	15
3.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	26
3.4 Perawatan Benda Uji	29
3.5 Pengujian Karakteristik SCC	29
3.6 Kuat Tekan Beton	32
3.7 Kuat Tarik Belah Beton	33
3.8 Modulus Elastisitas	34
BAB IV METODE PENELITIAN	36

4.1	Umum	36
4.2	Variabel Penelitian	36
4.3	Peralatan Penelitian	36
4.4	Bahan-bahan yang Digunakan	37
4.5	Benda Uji	38
4.6	Pelaksanaan Penelitian	39
4.6.1	Persiapan	39
4.6.2	Pengujian Agregat	39
4.6.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	39
4.6.4	Percobaan (<i>Trial</i>) Pembuatan Benda Uji	39
4.6.5	Pembuatan Benda Uji	40
4.6.6	Pengujian Karakteristik Beton SCC	40
4.6.7	Perawatan Benda Uji	40
4.6.8	Pengujian Benda Uji	40
4.6.9	Pengolahan Data	41
4.6.10	Analisis Data	42
4.6.11	Pembahasan	42
4.6.12	Kesimpulan dan Saran	42
4.6.13	Diagram Alir Penelitian	42
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		45
5.1.	Hasil Pengujian Agregat	45
5.5.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	45
5.5.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	51
5.2.	Desain Campuran SCC Mutu Tinggi	55
5.3.	Komposisi Campuran Beton SCC Mutu Tinggi	59
5.4.	Pengujian Sampel Beton SCC Trial	60
5.5.	Pengujian Sampel Beton SCC Mutu Tinggi	63
5.5.1	<i>Slump-flow</i>	63
5.5.2	<i>V-Funnel</i>	65
5.5.3	Pengujian Kuat Desak Beton	66
5.5.4	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	68

5.5.5	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	71
5.5.6	Pola Retak Beton	78
5.6.	Rekapitulasi Hasil Pengujian	80
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		82
6.1.	Kesimpulan	82
6.2.	Saran	83
DAFTAR PUSTAKA		84
LAMPIRAN		88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3.1 Syarat Kimia Utama	20
Tabel 3.2 Karakteristik Superplasticizer Sika Viscocrete 1003	24
Tabel 3.3 Komposisi Kimia Portland Cement (PC) dan Zeolit Alam	26
Tabel 3.4 Fraksi Volume Agregat Kasar	27
Tabel 3.5 Estimasi Kebutuhan Kadar Air Pencampuran dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir dengan 35% Rongga Udara	28
Tabel 3.6 Rasio $W/(c+p)$ Maksimum (dengan <i>Superplasticizer</i>)	28
Tabel 3.7 Kelas Slump-Flow	30
Tabel 4.1 Rincian Benda Uji	38
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	46
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	47
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	49
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	49
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	50
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	52
Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	52
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	55
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	55
Tabel 5.10 Komposisi Campuran Beton SCC Mutu Tinggi	59
Tabel 5.11 Komposisi Campuran Beton SCC Mutu Tinggi	60
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Slump-flow Beton SCC	64
Tabel 5.13 Hasil Pengujian V-funnel Beton SCC	65
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas ASTM C-469-9475	
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dengan Rumus Empiris	76
Tabel 5.16 Pola Retak Pada Setiap Komposisi	79
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Silica Fume	23
Gambar 3.2 Superplasticizer Viscrocrete-1003	24
Gambar 3.3 Zeolit 200 Mesh	25
Gambar 3.4 Kerucut Abrams dan Pelat Dasar pada Pengujian <i>Slump-Test</i>	31
Gambar 3.5 Alat Uji <i>V-Funnel</i>	32
Gambar 3.6 Alat Uji Kuat Tekan	33
Gambar 3.7 Pengujian Kuat Tarik Belah	34
Gambar 3.8 Pengujian Modulus Elastisitas	35
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus	48
Gambar 5.2 Gradasi Agregat Kasar	53
Gambar 5.3 Pengujian Slump Trial 1	61
Gambar 5.4 Pengujian Slump Trial 2	61
Gambar 5.5 Pengujian Slump Trial 3	62
Gambar 5.6 Pengujian Slump Trial 4	62
Gambar 5.7 Pengujian Slump Trial 5	63
Gambar 5.8 Pengujian Slump-flow	64
Gambar 5.9 Pengujian V-funnel	65
Gambar 5.10 Pengujian Kuat Desak Beton	66
Gambar 5.11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Desak Beton	67
Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	69
Gambar 5.13 Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Desak	70
Gambar 5.14 Grafik Tegangan Regangan Sampel Z0	74
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Hasil Modulus Elastisitas	77
Gambar 5.16 Pola Retak Beton	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pemeriksaan Agregat	89
Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton	97
Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton	98
Lampiran 4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	99
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	150

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SCC	= <i>Self Compacting Concrete</i>
EFNARC	= <i>The European Federation of National Associations Representing for Concrete</i>
PC	= <i>Portland Cement</i>
OPC	= <i>ordinary portland cement</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
HRWR	= <i>high range water reducing</i>
f'_c	= kuat tekan beton (MPa)
f'_{cr}	= kuat tekan beton ditargetkan (MPa)
E_c	= modulus elastisitas beton (MPa)
PBI	= Peraturan Beton Bertulang Indonesia
FHWA	= <i>Federal Highway Administration</i>
NBR-6118	= <i>Norma Brasileria Regulamentadora 6118</i>
SSD	= berat jenis kering permukaan jenuh
MHB	= modulus halus butir
SF	= <i>slump-flow</i>
FAS	= faktor air semen
UPV	= <i>ultrasonic pulse velocity</i>
SEM	= <i>scanning electron microscope</i>
NZ	= <i>natural zeolite</i>
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)

L	= panjang 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 <i>ultimate</i> (MPa)
S ₁	= tegangan pada regangan 0,00005 (MPa)
ε ₂	= regangan yang terjadi pada S ₂ .
E _c	= modulus elastisitas beton (MPa),
W _c	= berat volume beton normal (kg/m ³), dan
CTM	= <i>compression testing machine</i>
mm	= milimeter
cm	= centimeter
kg	= kilogram
gr	= gram
N	= Newton
kN	= kiloNewton
MPa	= MegaPascal

ABSTRAK

Beton memadat sendiri (*self compacting concrete*, SCC) mulai banyak dimanfaatkan dalam konstruksi. Namun, dari bahan penyusunnya seperti semen, dapat mengeluarkan emisi karbon yang berdampak buruk bagi lingkungan, sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengurangi atau mengganti semen menjadi bahan yang lebih ramah terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan bahan pengganti sebagian semen yang lebih ramah lingkungan dengan menggunakan bahan pozzolan, yaitu zeolit. Selain lebih ramah lingkungan, zeolit juga dapat berdampak positif terhadap sifat mekanik beton.

Komposisi beton SCC pada penelitian ini menggunakan bahan penyusun seperti kerikil, pasir, semen dan bahan tambah berupa *silica fume* 10% dari berat semen dan *superplasticizer* tipe *viscocrete*-1003 sebesar 1,5% dari berat semen sebagai beton SCC kontrol. Kemudian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik beton SCC dengan menggunakan zeolit sebagai pengganti sebagian semen dengan kadar 8%, 9%, 10% dan 11% dari berat semen pada beton SCC mutu tinggi usia 28 hari.

Penggunaan zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton SCC menghasilkan kuat desak optimum pada variasi zeolit 10%, yaitu sebesar 55,14 MPa umur 28 hari. Nilai optimum kuat tarik belah beton berada pada variasi zeolit 10%, yaitu sebesar 3,68 MPa. Pengujian modulus elastisitas diperoleh nilai optimum pada variasi zeolit 10%. Nilai yang diperoleh berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 29447,67 MPa, kemudian berdasarkan kuat tekan diperoleh nilai optimum sebesar 41515,98 MPa dan pada pengujian modulus elastisitas berdasarkan berat volume beton diperoleh nilai optimum sebesar 36754,89 MPa.

Kata Kunci: Beton SCC, Zeolit, Sifat mekanik beton

ABSTRACT

Self compacting concrete (SCC) is becoming more widely used in construction. However, its constituent materials, such as cement, can emit carbon emissions that are bad for the environment, so efforts need to be made to reduce or replace cement with materials that are more environmentally friendly. This research uses a partial replacement material for cement that is more environmentally friendly by using pozzolanic materials, namely zeolites. Besides, zeolites can also have a positive impact on the mechanical properties of concrete.

The composition of SCC concrete in this study uses constituent materials such as gravel, sand, cement and additives in the form of silica fume 10% by weight of cement and Viscocrete-1003 type superplasticizer at 1.5% by weight of cement as control SCC concrete. Then, this study aims to determine the mechanical properties of SCC concrete by using zeolite as a partial replacement of cement at levels of 8%, 9%, 10% and 11% by weight of cement in 28 days old high strength SCC concrete.

The use of zeolite as a cement replacement in SCC concrete produces optimum compressive strength at 10% zeolite variation, which is 55.14 MPa at 28 days of age. The optimum value of concrete split tensile strength is at 10% zeolite variation, which is 3.68 MPa. The modulus of elasticity test obtained the optimum value at 10% zeolite variation. The value obtained based on laboratory testing is 29447.67 MPa, then based on compressive strength, the optimum value is 41515.98 MPa and in the elastic modulus test based on the volume weight of concrete, the optimum value is 36754.89 MPa.

Keywords: SCC concrete, Zeolite, Mechanical properties of concrete

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi konstruksi yang semakin berkembang seiring berjalannya waktu telah memunculkan beragam inovasi yang bermanfaat, khususnya pada produk dan bahan konstruksi seperti beton. Beton merupakan bahan konstruksi yang terdiri dari campuran semen, air, agregat seperti pasir, kerikil, atau pecahan batu dan bahan tambah lainnya. Salah satu inovasi yang muncul adalah beton memadat sendiri (*self compacting concrete*, SCC) yang mulai banyak dimanfaatkan dalam konstruksi. Beton SCC dikenal memiliki kemudahan kerja (*workability*) yang tinggi, sehingga dapat mempersingkat waktu pengerjaan dan dapat mengurangi biaya pekerjaan pengecoran. Beton memadat sendiri memiliki kemampuan untuk mengalir sendiri dan dapat dicetak di dalam bekisting tanpa perlu menggunakan alat pemadat secara berkala atau bahkan tanpa pemadatan sama sekali (Budi et al., 2018). Dengan sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh Beton SCC, maka beton ini dapat diaplikasikan pada saat pengecoran struktur bangunan yang memiliki tulangan dengan jarak yang sangat rapat, sehingga rawan mengalami segregasi dan *bleeding* (Sasanipour dan Aslani, 2020).

Untuk memenuhi sifat dan karakteristik pada beton, semen memiliki peran penting, yaitu sebagai pengikat material penyusun seperti air, agregat dan bahan penyusun lainnya. Namun, tidak bisa dimungkiri bahwa peran penting tersebut dapat berdampak terhadap lingkungan. Terdapat emisi karbon yang diakibatkan oleh produksi dari salah satu jenis semen OPC (*Ordinary Portland Cement*). Setiap ton OPC yang diproduksi mengeluarkan sekitar jumlah CO² yang serupa ke atmosfer, menyumbang sekitar 6% dari total emisi karbon yang dihasilkan oleh manusia (Mohamad et al., 2022). Dari penelitian tersebut, menyebutkan bahwa semen mengeluarkan emisi karbon yang berdampak buruk bagi lingkungan, sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengurangi atau mengganti semen menjadi

bahan yang lebih ramah terhadap lingkungan. Salah satu upaya yang dilakukan, yaitu mengganti sebagian semen dengan bahan pozzolan seperti zeolit.

Zeolit merupakan mineral alami bersenyawa alumino-silikat yang ditemukan dan ditambang dari endapan mineral. Zeolit memiliki sifat yang memungkinkannya melepaskan air saat dipanaskan dan memiliki kemampuan untuk menyerap kembali molekul air dari udara lembab (Simanjuntak dan Nursyamsi, 2019). Zeolit alam mengandung Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Ferro Oksida (Fe_2O_3) dan Kalsium Oksida (CaO) dan juga mengandung unsur tambahan lain, yaitu Magnesium Oksida (MgO), Titanium Oksida (TiO_2), Alkalin (Na_2O dan K_2O), Pospor Oksida (P_2O_5) yang merupakan beberapa unsur kimia yang terdapat di dalam semen (Cahyaka et al., 2018). Senyawa yang terkandung di dalam zeolit menunjukkan bahwa zeolit dapat menggantikan fungsi sebagian dari semen. Di sisi lain, kondisi geologis Indonesia sangat memungkinkan untuk memproduksi zeolit, karena daerah vulkanik seperti gunung berapi sangat banyak dijumpai di Indonesia. Hal tersebut memungkinkan zeolit alam untuk dapat dimanfaatkan khususnya pada campuran beton. Memodifikasi campuran beton dengan penambahan zeolit alam dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton seiring berjalannya waktu, sehingga dapat berhasil digunakan dalam berbagai proyek konstruksi (Shekarchi et al., 2023).

Beberapa penelitian yang menggunakan zeolit sebagai alternatif pengganti sebagian semen menunjukkan keunggulan terhadap sifat mekanik beton. Penggunaan zeolit pada beton dapat meningkatkan kuat tekan seperti penelitian yang dilakukan oleh Alishah (2020), penggunaan zeolit pada beton umur 28 hari, kuat tekan mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase zeolit, yaitu 8% dari berat semen, kemudian menurun setelahnya. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Nia et al., 2019) pada beton SCC dengan penggunaan optimum zeolit adalah sebesar 10% dari berat semen dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat mencapai 50 Mpa. Selain itu, penggunaan zeolit juga diteliti pada beton mutu tinggi, seperti penelitian yang dilakukan oleh (Thang et al., 2020) menunjukkan nilai kuat tekan yang dapat mencapai 120 MPa pada penggunaan zeolit 10%, serta mengalami peningkatan sebesar 149% (7 hari), 124% (28 hari) dan 123% (90 hari) lebih tinggi daripada beton kontrol. Dari penelitian tersebut, menunjukkan bahwa

penggunaan zeolit sebagai bahan alternatif pengganti semen dapat digunakan pada beton SCC dan beton mutu tinggi.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa zeolit dapat diterapkan pada campuran beton sebagai bahan alternatif pengganti sebagian semen. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya peningkatan kuat tekan beton seiring meningkatnya kadar zeolit. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk menguji zeolit dengan kadar 0%, 8%, 9%, 10% dan 11% sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi (45 MPa). Variasi zeolit diatas 8% menghasilkan sifat mekanik beton yang optimal berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Simanjuntak dan Nursyamsi (2019), Nia dkk. (2019), Ghasemi dkk. (2019), Thang dkk. (2020), Alishah (2020), Andika dkk. (2021).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka diambil rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi?
2. Bagaimana pengaruh variasi zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton SCC mutu tinggi?
3. Berapakah variasi zeolit yang optimum terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi?
4. Bagaimana pola retak yang terjadi terhadap benda uji pada setiap komposisi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi.
2. Mengetahui pengaruh zeolit sebagai pengganti sebagian semen dan terhadap karakteristik beton SCC mutu tinggi.
3. Mengetahui kadar optimum zeolit yang digunakan terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi.

4. Mengidentifikasi pola retak yang terjadi pada beton SCC pada setiap komposisi

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh zeolit sebagai pengganti sebagian semen pada beton SCC mutu tinggi.
2. Memberikan upaya berupa informasi untuk mengurangi penggunaan semen karena menghasilkan emisi karbon yang berdampak buruk bagi lingkungan, yaitu dengan menggunakan pozzolan pada campuran beton berupa zeolit.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian agar tujuan dari penelitian tidak menyimpang adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton rencana ($f'c$) 45 MPa.
2. Variasi zeolit yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah 0%, 8%, 9%, 10%, 11% dari berat semen.
3. Penambahan *superplasticizer* jenis *viscocrete-1003* dari PT. Sika Indonesia sebesar 1,5% dari berat semen.
4. *Silica fume* menggunakan produk dari PT. Sika Indonesia, yaitu Sika Fume sebesar 10% dari berat semen.
5. Pengujian kuat tekan beton SCC dilakukan pada umur 28 hari.
6. Sampel uji kuat tekan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm pada setiap variasi yang diuji.
7. Agregat halus yang digunakan dalam pengujian berasal dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
8. Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
9. Semen yang digunakan jenis *Portland Cement* tipe 1, bermerk Semen Gresik.
10. Zeolit berukuran 200 mesh yang digunakan berasal dari Klaten, Jawa Tengah.

11. Air yang digunakan dalam pengujian berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
12. Perancangan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode SNI 03-6468-2000 dan EFNARC (*European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*) sebagai standar karakteristik beton SCC.
13. Perawatan beton dilakukan dengan cara merendam sampel beton ke dalam bak air di Laboratorium Bahan Konstruksi FTSP UII.
14. Variabel tetap adalah pasir, kerikil, air, semen, kadar *silica fume* (10% dari berat semen) dan kadar *superplasticizer* (1,5% dari berat semen).
15. Variabel berubah adalah zeolit dengan persentase campuran sebesar 0%, 8%, 9%, 10% dan 11% dari berat semen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang dapat memadat sendiri dengan memanfaatkan berat sendiri untuk mengalir dan mengisi bekisting tanpa perlu menggunakan alat pemadat beton. Beton ini menggunakan proporsi agregat dan ukuran yang telah disesuaikan, serta *superplasticizer* untuk mencapai keenceran khusus, sehingga memungkinkannya mengalir sendiri tanpa memerlukan alat pemadat (Simanjuntak dan Nursyamsi, 2019).

Menurut (Simanjuntak dan Nursyamsi, 2019), terdapat beberapa kelebihan yang dimiliki beton SCC sebagai berikut.

1. Pengecoran dapat dilakukan dengan mudah dan cepat, termasuk pada beton dengan tulangan yang sangat rapat tanpa perlu dipadatkan.
2. Pengecoran dapat dilakukan di posisi yang tinggi karena beton dapat dipompa dengan mudah.
3. Setelah mengeras (*hardened concrete*), beton memiliki kekuatan yang tinggi disebabkan pengurangan kadar air, sehingga porositas menjadi minimum, memiliki kemampuan kedap air yang tinggi, serta deformasi susut yang rendah.
4. Keawetan jangka panjang yang lebih baik.

2.2 Penelitian Terdahulu

1. Pengaruh Penambahan Zeolit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton

Penelitian yang dilakukan Simanjuntak A dan Nursyamsi (2019), bertujuan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton dengan penambahan zeolit sebagai substitusi semen dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%. Penelitian ini melakukan pengujian menggunakan sampel sebanyak 48 sampel dengan mutu rencana sebesar 30 MPa. Metode yang digunakan berupa metode analisis data yang mengacu pada SNI 03-6815-2002 tentang

Tata Cara Mengevaluasi Hasil Uji Kekuatan Beton. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut.

- a. Kadar optimum penggunaan zeolit sebagai bahan tambah terhadap nilai kuat sebanyak 10% terhadap berat semen di mana kuat tekan pada 7 hari 33,564 MPa dan 34,348 MPa pada 28 hari.
 - b. Kadar optimum penggunaan zeolit sebagai bahan tambah terhadap nilai kuat tarik belah terdapat pada beton normal (0% penggunaan zeolit). Semakin besar penggunaan zeolit, maka semakin rendah nilai kuat tarik belah yang didapat.
2. Dealing with Workability Loss Challenge in SCC Mixtures Incorporating Natural Pozzolans: A study of natural zeolite and pumice
- Penelitian yang dilakukan Ghasemi dkk. (2019), bertujuan untuk mengetahui pengaruh zeolit alam (NZ) dan batu apung sebagai pengganti semen pada beton SCC yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja dan sifat pengerasan campuran. Kadar zeolit sebagai pengganti semen, yaitu 10% dan 20% yang akan diuji pada beton umur 7, 28 dan 90 hari. Parameter uji yang dilakukan berupa karakteristik dan kuat tekan beton. Berikut merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Ghasemi dkk. (2019).
- a. Beton SCC yang mengandung zeolit 10% mempunyai kuat tekan paling tinggi dari semua umur dan campuran.
 - b. Kuat tekan optimum beton SCC pada umur 28 hari pada terjadi pada variasi zeolit alam 10% dengan 0,36, yaitu ≥ 48 MPa dan mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur beton.
 - c. Kekuatan tekan SCC pada hari ke 7, 28, dan 90 hari yang memiliki 10% NZ masing-masing rata-rata 33,5%, 32,4%, dan 35,3% lebih tinggi dibandingkan dengan SCC kontrol. Peningkatan nilai kuat tekan masing-masing berkurang menjadi 26,3%, 25,8% dan 27,7% untuk SCC dengan variasi zeolit alam sebesar 20%.
3. Experimental Study of Applying Natural Zeolite as a Partial Alternative for Cement in Self-Compacting Concrete (SCC)

Penelitian yang dilakukan Nia dkk. (2019), bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat beton segar dan beton memadat sendiri dengan zeolit alam sebagai alternatif parsial semen dengan kadar variasi 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen yang akan diuji pada umur 3, 7, 14, 28 dan 90 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji karakteristik beton SCC, uji kuat tekan, uji kuat tarik belah, uji *ultrasonic pulse velocity* (UPV), uji absorpsi awal dan akhir. Digunakan sepuluh campuran SCC yang dirancang dalam dua kelompok dengan rasio W/B sebesar 0,45 (G1) dan 0,38 (G2). Kuat tekan beton SCC diuji pada benda uji berbentuk kubus ukuran 100×100×100 mm. Kuat tarik belah beton SCC diuji pada benda uji berbentuk silinder ukuran 15×30 cm. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Nilai kuat tekan pada beton umur 3, 7, 14, 28 dan 90 hari pada dua kelompok masing masing berkisar antara 13,2-37 MPa dan 13,9-53,8 MPa. Kuat tekan beton SCC dengan 10% zeolit alam pada rasio air pengikat (w/b) 0,38 adalah 6% lebih tinggi dibandingkan dengan SCC tanpa campuran zeolit alam, sedangkan penggunaan zeolit alam pada rasio w/b 0,45 menyebabkan penurunan kuat tekan.
 - b. Campuran yang menggunakan zeolit alam menunjukkan tren yang relatif sama dengan yang diamati untuk kuat tekan dengan nilai kuat tarik pada dua kelompok campuran masing-masing berkisar 2,7-2,29 MPa dan 3,09-4,5 MPa.
4. Effect of Zeolite on Shrinkage and Crack Resistance of High-Performance Cement-Based Concrete

Penelitian yang dilakukan oleh Thang dkk. (2020), bertujuan untuk mengetahui efektivitas zeolit sebagai pengganti sebagian semen untuk mengurangi penyusutan autogenous beton berbasis semen kinerja tinggi (HPC). Kadar variasi zeolit yang digunakan, yaitu 0%, 5%, 10% dan 15% yang akan diuji pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi: uji karakteristik, kuat tekan dan susut beton. Uji kuat tekan beton ditentukan sesuai dengan standar ASTM C109 dengan sampel kubus

berukuran 50×50×50 mm. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Penambahan zeolit hingga 10% memberikan efek menguntungkan baik pada kemampuan alir maupun kuat tekan beton mutu tinggi. Kandungan zeolit yang lebih tinggi dapat menurunkan kemampuan kerja dan kuat tekan, namun masih lebih tinggi dibandingkan HPC tanpa zeolit.
- b. Nilai kuat tekan pada penggunaan zeolit 10%, yaitu 149%, 124% dan 123% lebih tinggi daripada beton kontrol. Sedangkan untuk benda uji dengan kandungan zeolit lebih tinggi, yaitu 15%. Perkembangan kekuatannya sedikit lebih rendah, yaitu masing-masing 131%, 110% dan 118% pada umur 7, 28 dan 90 hari.
- c. Penggunaan zeolit memberikan peningkatan kekuatan tekan pada beton mutu tinggi dengan nilai kuat tekan ≥ 120 MPa.

5. The Effect of Zeolite on Different Mechanical Properties and Permeability of Self-Compacting Concrete

Penelitian yang dilakukan oleh Alishah (2020), bertujuan untuk mengetahui pengaruh zeolit dalam berbagai tingkat semen pada sifat mekanik dan permeabilitas beton. Kadar zeolit sebagai substitusi semen yang digunakan dalam campuran, yaitu 0%, 2%, 6%, 8%, 12%, 15%. Campuran beton yang direncanakan akan diuji pada umur 7 dan 28 hari dengan kelas semen yang berbeda, yaitu 320 kg/cm², 340 kg/cm², 360 kg/cm², 380 kg/cm², dan 400 kg/cm². Hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Kuat tekan beton menurun seiring bertambahnya persentase zeolit pada umur 7 hari, tetapi pada umur 28 hari dengan bertambahnya persentase zeolit, kuat tekan beton mengalami peningkatan.
 - b. Analisis kuat tekan menunjukkan bahwa penggunaan zeolit lebih dari 8% menurunkan kuat tekan beton. Pengaruh kadar semen terhadap kuat tekan beton menurun seiring dengan bertambahnya mutu beton.
6. Influence of Natural Zeolite on Fresh Properties, Compressive Strength, Flexural Strength, Abrasion Resistance, Cantabro-loss and Microstructure of Self-Consolidating Concrete

Penelitian yang dilakukan oleh Zolghadri dkk. (2022), bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh zeolit alam terhadap beberapa sifat segar dan pengerasan beton SCC. Kadar zeolit sebagai pengganti semen yang digunakan 0%, 5%, 10% dan 15% yang akan diuji pada umur 28 hari menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 100 mm kubik. Pengujian yang dilakukan meliputi: Karakteristik beton, kuat tekan, kuat lentur, ketahanan abrasi, *cantabro-loss* dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pada umur 28 hari, campuran zeolit 5% dan 10% dengan rasio air pengikat (w/b) 0,46 masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 3,5% dan 4,4% lebih tinggi dibandingkan campuran kontrol. Selain itu, campuran zeolit 0%, 10% dan 15% dengan w/b 0,42, masing-masing lebih tinggi 7,5%, 11,9%, dan 9,9% dibandingkan campuran kontrol.
- b. Kuat tekan pada campuran zeolit 15% dengan w/b 0,46 memiliki nilai kuat tekan 13,5% lebih rendah.
- c. Kuat tekan pada umur 7 hari menurun dengan meningkatnya kadar zeolit, sedangkan campuran zeolit berkinerja lebih baik daripada beton kontrol pada usia 28 dan 90 hari. Kuat tekan optimum didapatkan dari campuran zeolit 10% dengan w/b 0,42 pada umur 7, 28 dan 90 hari masing-masing sebesar 35,3, 50,6 dan 61,0 MPa.

Topik penelitian yang dibahas merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan dari Simanjuntak dan Nursyamsi (2019), Nia dkk. (2019), Ghasemi dkk. (2019), Thang dkk. (2020), Alishah (2020), Andika dkk. (2021). Penelitian yang akan dilakukan menggunakan zeolit sebagai pengganti sebagian semen dengan kadar 0%, 8%, 9%, 10% dan 11% dengan bahan pada campuran beton SCC. Pengujian yang dilakukan akan berfokus pada kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran 15×30 cm yang diuji pada beton umur 28 hari. Perbedaan penelitian-penelitian yang pernah dan akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Nama Peneliti	(Simanjuntak & Nursyamsi), (2019)	Ghasemi dkk. (2019)	Nia dkk. (2019)	Thang dkk. (2020)	Alishah (2020)	Zolghadri dkk. (2022)	Bayu Pamungkas (2025)
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Zeolit Sebagai Substitusi Semen terhadap Sifat Mekanik Beton	Dealing with workability loss challenge in SCC mixtures incorporating natural pozzolans: A study of natural zeolite and pumice	Experimental Study of Applying Natural Zeolite as a Partial Alternative for Cement in Self-Compacting Concrete (SCC)	Effect of Zeolite on Shrinkage and Crack Resistance of High-Performance Cement-Based Concrete	The Effect of Zeolite on Different Mechanical Properties and Permeability of Self-Compacting Concrete	<i>Influence of Natural Zeolite on Fresh Properties, Compressive Strength, Flexural Strength, Abrasion Resistance, Cantabro-loss and Microstructure of Self-Consolidating Concrete</i>	Pengaruh Zeolit Sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Sifat Mekanik Beton SCC Mutu Tinggi
Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh zeolit sebagai substitusi semen terhadap sifat mekanik beton, dengan jumlah sampel sebanyak 48 buah dan mutu rencana sebesar 30 MPa	Mengetahui pengaruh zeolit alam (NZ) dan batu apung sebagai pengganti semen pada beton SCC yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja dan sifat pengerasan campuran	Mengetahui karakteristik dan sifat mekanik beton SCC dengan zeolit alam sebagai alternatif parsial semen	Mengetahui efektivitas zeolit sebagai pengganti sebagian semen untuk mengurangi penyusutan autogenous beton berbasis semen kinerja tinggi (HPC)	Mengetahui pengaruh zeolit dalam berbagai tingkat semen pada sifat mekanik dan permeabilitas beton	Mengevaluasi pengaruh zeolit alam (NZ) terhadap beberapa sifat segar dan pengerasan beton SCC.	Mengetahui pengaruh zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton SCC mutu tinggi
Kadar Zeolit	0%, 5%, 10% dan 15%	10% dan 20%	5%, 10%, 15% dan 20%	0%, 5%, 10% dan 15%	0%, 2%, 6%, 8%, 12%, 15%.	0, 5%, 10%, dan 15%	0%, 8%, 9%, 10% dan 11%

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Nama Peneliti	Simanjuntak & Nursyamsi (2019)	Ghasemi dkk. (2019)	Nia dkk. (2019)	Thang dkk. (2020)	Alishah (2020)	Zolghadri dkk. (2022)	Bayu Pamungkas (2025)
Parameter Uji	Kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi beton	Karakteristik dan kuat tekan beton	Kuat tekan, kuat tarik belah, <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV) dan absorpsi beton	Karakteristik, kuat tekan dan susut beton	Kuat tekan dan absorpsi beton	Karakteristik beton, kuat tekan, kuat lentur, ketahanan abrasi, <i>cantabro-loss</i> dan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	Kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah beton
Hasil Penelitian	Kadar optimum penggunaan zeolit sebagai substitusi semen adalah 10% terhadap berat semen, di mana kuat tekan pada 7 hari 33,564 MPa dan pada 28 hari 34,348 MPa. Kadar optimum penggunaan zeolit sebagai bahan tambah terhadap nilai kuat tarik belah terdapat pada beton normal.	Kuat tekan beton SCC pada variasi zeolit alam 10% dengan rasio air 0,36 pada umur 28 hari menunjukkan nilai kuat tekan yang optimum, yaitu sebesar ≥ 42 MPa dan mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur beton.	Penggunaan 5-10% zeolit alam pada SCC memiliki perkembangan kuat tekan tertinggi, dengan nilai kuat tekan SCC pada dua kelompok masing-masing berkisar antara 13,2-37 MPa dan 13,9-53,8 MPa. Kuat tekan beton SCC dengan 10% zeolit alam pada rasio air pengikat (w/b) 0,38 adalah 6% lebih tinggi-	Pengujian kuat tekan pada umur 7, 28 dan 90 hari dengan kandungan zeolit 10% memberikan efek menguntungkan baik pada kemampuan alir maupun kuat tekan. Nilai kuat tekan pada penggunaan zeolit 10%, yaitu 149%, 124% dan 123% lebih tinggi daripada beton kontrol.	Kuat tekan beton menurun seiring bertambahnya persentase zeolit pada umur 7 hari, tetapi pada umur 28 hari dengan bertambahnya persentase zeolit, kuat tekan beton mengalami peningkatan. Analisis kuat tekan menunjukkan bahwa penggunaan zeolit lebih dari 8% menurunkan kuat tekan beton.	Pada umur 28 hari pada campuran zeolit 5% dan 10% dengan rasio air pengikat (w/b) 0,46, masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 3,5% dan 4,4% lebih tinggi dibandingkan campuran kontrol. Selain itu, campuran zeolit 0%, 10% dan 15% dengan w/b 0,42 masing-masing lebih tinggi 7,5%, 11,9%, dan 9,9% dibandingkan campuran kontrol.	Penggunaan zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton SCC menghasilkan kuat desak optimum pada variasi Z10 (zeolit 10%), yaitu sebesar 55,14 MPa umur 28 hari. Pada nilai kuat tarik belah, nilai optimum berada pada variasi Z10 (zeolit 10%), yaitu sebesar 3,68 MPa.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Nama Peneliti	Simanjuntak & Nursyamsi (2019)	Ghasemi dkk. (2019)	Nia dkk. (2019)	Thang dkk. (2020)	Alishah (2020)	Zolghadri dkk. (2022)	Bayu Pamungkas (2025)
Hasil Penelitian	Semakin besar penggunaan zeolit, maka semakin rendah nilai kuat tarik belah yang di dapat.	Peningkatan nilai kuat tekan masing-masing berkurang menjadi 26,3%, 25,8% dan 27,7% untuk SCC dengan variasi zeolit alam sebesar 20%.	dibandingkan dengan SCC tanpa campuran zeolit alam, sedangkan penggunaan zeolit alam pada rasio w/b 0,45 menyebabkan penurunan kuat tekan. Kemudian, kuat tarik belah beton SCC dengan zeolit alam menunjukkan tren yang relatif sama dengan yang diamati pada kuat tekan dengan nilai kuat tarik pada dua kelompok campuran masing-masing berkisar 2,7-2,29 MPa dan 3,09-4,5 MPa.	Sedangkan, benda uji dengan kandungan zeolit lebih tinggi, yaitu 15%, perkembangan kekuatannya sedikit lebih rendah, yaitu masing-masing 131%, 110% dan 118% pada umur 7, 28 dan 90 hari. Penggunaan zeolit memberikan peningkatan kekuatan tekan pada beton mutu tinggi dengan nilai kuat tekan $\geq$ 120 MPa.		Sementara itu, kuat tekan pada campuran zeolit 15% dengan w/b 0,46 memiliki nilai kuat tekan 13,5% lebih rendah. Kuat tekan optimum didapatkan dari campuran zeolit 10% dengan w/b 0,42 pada umur 7, 28 dan 90 hari masing-masing sebesar 35,3, 50,6 dan 61,0 MPa.	Pengujian modulus elastisitas diperoleh nilai optimum pada variasi zeolit 10%. Nilai yang diperoleh berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 29447,67 MPa.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Beton memadat sendiri sering disebut sebagai *Self Compacting Concrete* (SCC), merupakan beton yang dapat secara otomatis mengisi seluruh bekisting karena beratnya sendiri tanpa terjadi pemisahan material, bahkan dalam kondisi tulangan yang rapat dan kompleks, tanpa memerlukan getaran tambahan dengan tetap mempertahankan homogenitasnya. SCC banyak dimanfaatkan dalam konstruksi yang mengharapkan kualitas beton tinggi seperti bangunan bertingkat, struktur dengan bentuk kompleks dan proyek konstruksi yang memerlukan pengisian ruang yang rapat. Keunggulan beton memadat sendiri meliputi kekuatan tinggi, ketahanan terhadap air, dan stabilitas kekuatan. Selain itu, beton ini juga lebih mudah diproduksi dan dibentuk, memberikan kemudahan dalam proses konstruksi. Berdasarkan spesifikasi dan pedoman (EFNARC, 2005), suatu campuran beton hanya dapat diklasifikasikan sebagai “Beton Memadat Sendiri” jika ketiga persyaratan di bawah ini terpenuhi, yaitu:

1. Kemampuan mengisi (*Filling Ability*), kemampuan beton untuk mengisi ruang-ruang, seperti bekisting dan tulangan terpasang.
2. Kemampuan mengalir (*Passing Ability*), kemampuan beton untuk mengalir dan menyebar ke dalam bekisting tanpa getaran.
3. Resistensi segregasi (*Segregation Resistance*), kemampuan beton untuk mencegah pemisahan agregat, yang memastikan homogenitas dan kesatuan saat dalam pengecoran.

SCC memiliki sifat segar yang sangat penting dalam menentukan apakah beton dapat dipasang dengan baik atau tidak. Berbagai aspek perlu diperhatikan untuk mengontrol kemampuan pengisian, kemampuan mengalir, dan ketahanan segregasinya secara hati-hati untuk memastikan bahwa kemampuan beton tersebut telah memenuhi syarat.

Prosedur untuk merancang campuran SCC telah diatur oleh (EFNARC, 2005), yang didasarkan pada metode yang dikembangkan oleh Okamura dan Ozawa (1995), yaitu sebagai berikut.

1. Agregat kasar dalam beton ditetapkan sebesar 50% hingga 60% dari volume padat.
2. Agregat halus ditetapkan sebesar 40% hingga 50% dari volume mortar.
3. Kandungan pasir ditentukan oleh kepadatan curah. Kandungan volume pasir yang optimum dalam mortar bervariasi antara 40 hingga 50% tergantung pada sifat pasta.
4. Rasio air-bubuk dalam volume sebesar 0,8 hingga 1,1 tergantung pada sifat bubuk.
5. Dosis *superplasticizer* dan rasio air-bubuk akhir ditentukan untuk memastikan kompatibilitasnya.

3.2 Material Penyusun Beton SCC

Bahan penyusun yang digunakan dalam beton SCC harus sesuai kebutuhan penggunaan beton dan tidak mengandung bahan berbahaya dalam jumlah yang dapat merugikan kualitas atau ketahanan beton, serta tidak menyebabkan korosi pada tulangan.

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan komponen yang diperlukan dalam pembuatan beton terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lainnya. Fungsi agregat adalah untuk meningkatkan berbagai sifat beton, seperti kekuatan, tekstur, dan ketahanan terhadap air. Biasanya, agregat diperoleh dari sumber alami seperti sungai, tanah, atau batu. Pada campuran beton, jenis agregat mencakup agregat halus (seperti pasir dan kerikil) dan agregat kasar (seperti batu pecah dan batu split). Penjelasan mengenai agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-2847-2002, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu

dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Persyaratan agregat halus secara umum adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus dicuci.

Agregat halus yang digunakan harus melalui proses pengujian properties agregat sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan penyerapan air dalam agregat halus.

- 1) Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Berat jenis curah merupakan rasio antara berat agregat dalam keadaan kering terhadap berat air suling yang memiliki volume sama dengan agregat saat berada dalam kondisi jenuh pada suhu tertentu.

- 2) Berat Jenis Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry Specific Gravity*)

Berat jenis kering permukaan adalah perbandingan antara berat agregat dalam kondisi kering permukaan dengan berat air suling yang memiliki volume setara dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

- 3) Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

Berat jenis semu merupakan rasio antara berat agregat dalam kondisi kering terhadap berat air suling dengan volume yang sama seperti agregat pada suhu tertentu.

- 4) Penyerapan Air (*Water Absorption*)

Penyerapan air adalah persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat terserap oleh pori-pori agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering yang dinyatakan dalam persen.

Pengujian properties agregat halus dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1 hingga 3.4 berikut.

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

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

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

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

Keterangan:

Bk = berat pasir kering mutlak (gr)

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

b. Pengujian berat volume

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

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

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

Keterangan:

W1 = berat agregat tanpa dipadatkan (gr)

W2 = berat agregat yang dipadatkan (gr)

V = volume silinder (cm³)

c. Analisa saringan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Modulus halus butir 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.

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

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

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)

d. Uji lolos saringan No.200

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur pada agregat halus.

Perhitungan menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.9)$$

Keterangan:

W1 = berat agregat sebelum dicuci (gr)

W2 = berat agregat setelah dicuci (gr)

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2847-2002, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Dalam penggunaannya harus memenuhi syarat- syarat sebagai berikut.

- Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
- Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat- zat yang reaktif terhadap alkali.
- Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

Menurut Tjokrodinuljo (1996), sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut.

Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit, sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang. Menurut SNI 03-2461-2002, agregat kasar memiliki modulus kehalusan atau *fineness modulus* (FM) yang berada di kisaran antara 6,0 s/d 7,1. Agregat kasar yang baik untuk pengikatan dengan pasta dan mortar semen adalah yang bertekstur cukup kasar, bentuk bersudut banyak/kubikal, tidak pipih, bulat ataupun panjang.

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian diuji dengan pengujian sebagai berikut.

a. 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.

b. Pengujian berat volume

c. 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.

d. 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 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.

3.2.2 Semen *Portland*

Semen *portland* merupakan jenis semen yang paling umum digunakan secara luas di seluruh dunia sebagai bahan dasar untuk beton, mortar, plester, dan aplikasi konstruksi lainnya. Komposisi semen *portland* terdiri dari campuran *limestone*, tanah liat, pasir silika, dan biji besi, dengan *limestone* sebagai bahan dominan. Sifat pengikat hidrolis semen *portland* memungkinkannya untuk melekat (adhesi dan kohesi) ketika terkena air dan mengalami reaksi kimia (hidrasi) yang berubah dari pasta semen yang plastis menjadi keras dan kaku.

Menurut SNI-2049-2015, terdapat beberapa jenis semen *portland* berdasarkan kegunaan sebagai berikut.

1. Jenis I adalah semen *portland* yang digunakan secara umum tanpa persyaratan khusus yang ditetapkan untuk jenis lainnya.
2. Jenis II adalah semen *portland* yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang dalam penggunaannya.
3. Jenis III adalah semen *portland* yang dibutuhkan untuk memiliki kekuatan awal yang tinggi setelah terjadi pengikatan dalam penggunaannya.
4. Jenis IV adalah semen *portland* yang memerlukan kalor hidrasi rendah dalam penggunaannya.
5. Jenis V adalah semen *portland* yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dalam penggunaannya.

Adapun syarat kimi utama pada semen *portland* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Syarat Kimia Utama

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , minimum	-	20,0	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	6,0	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
6	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3	3	3,5	2,3	2,3
7	Jika C ₃ A > 8,0	3,5		4,5		
8	Hilang pijar, maksimum	3,5	3	3	2,5	3
9	Bagian tak larut, maksimum	5	1,5	1,5	1,5	1,5
10	C ₃ S, maksimum	3		-	35	-
11	C ₂ S, minimum	-		-	40	-
12	C ₃ A, maksimum	-	8	15	7	5
13	C ₄ AF + 2C ₃ A atau	-			-	25

Sumber: SNI 2049-2015

3.2.3 Air

Air dalam campuran beton memiliki peranan penting dalam proses pembuatan beton karena berpengaruh pada sifat-sifat beton, termasuk kemudahan dalam pengerjaan dan penyusutan. Air bertindak sebagai pengencer dan memicu

proses hidrasi semen yang menyebabkan campuran tersebut mengeras setelah waktu tertentu. Kualitas air dalam beton harus terjaga dan bebas dari kotoran seperti lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat terlihat secara kasat mata. Jumlah air yang digunakan dalam beton harus disesuaikan dengan kebutuhan reaksi kimia dalam proses pengerasan beton; penggunaan air yang terlalu sedikit atau terlalu banyak dapat mengakibatkan beton sulit dicampur atau memiliki kekuatan yang rendah.

Terdapat persyaratan air yang digunakan dalam campuran beton berdasarkan SNI-7974-2013 adalah sebagai berikut.

1. Air pencampur yang meliputi
 - a. Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau diukur di *batching plant*).
 - b. Es.
 - c. Air yang ditambahkan oleh operator truk.
 - d. Air bebas pada agregat-agregat.
 - e. Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
2. Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji sesuai syarat standar.
3. Air pencampur yang seluruh atau sebagian terdiri dari sumber air yang tidak dapat diminum atau air dari produksi beton boleh digunakan dalam setiap proporsi.
4. Bila air dari sumber yang tidak bisa diminum dicampur dengan air dari sumber yang bisa diminum, kualifikasi air campuran ditentukan oleh kemungkinan persentase tertinggi air dari sumber yang tidak bisa diminum.
5. Air kombinasi yang dicampur dari dua atau lebih sumber air harus memenuhi persyaratan kandungan bahan padat tertinggi yang diantisipasi dalam total air campuran selama produksi. Campuran air yang mengandung bahan padat sama dengan atau kurang dari kadar yang disyaratkan dalam pengujian harus diizinkan.

3.2.4 Bahan Tambah (*Admixtures*)

Bahan tambah (*admixtures*) merupakan bahan yang dimasukkan ke dalam campuran beton dengan tujuan memodifikasi karakteristiknya. Menurut *American Concrete Institute (ACI)*, bahan tambah merujuk pada material yang tidak termasuk air, agregat, dan semen hidrolis, yang dicampurkan dalam beton atau mortar sebelum atau saat proses pengadukan berlangsung. Jenis bahan ini meliputi bahan kimia, mineral, atau organik, yang bertujuan mengubah sifat-sifat khusus dari beton atau mortar yang dihasilkan. Perubahan dalam komposisi berat-volume tidak secara langsung teras dibandingkan dengan komposisi awal. Menurut standar ASTM C 494-99 dan Pedoman Beton 1989 SKBI.1.4.53.1989, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe bahan tambah sebagai berikut.

a. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

c. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air pencampur diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsisten dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water Reducing, High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding*”

Water Reducing, High Range Retarding adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

Bahan tambah ini berguna untuk mempercepat atau memperlambat proses pengerasan beton, mengurangi penggunaan semen, mencegah segregasi dan *bleeding*, serta memodifikasi *workability* beton. Contoh bahan tambah meliputi bahan pemercepat pengerasan, bahan retarder, bahan pengikat, dan bahan tambah kimia.

3.2.5 *Silica Fume*

Silica fume merupakan bahan aditif yang diproduksi oleh PT. Sika Indonesia dengan nama produk SikaFume, yang digunakan dalam campuran beton sebesar 3-10% dari berat semen. *Silica fume* dikategorikan sebagai bahan pozzolan, yaitu material yang mengandung senyawa silika dan alumina namun tidak memiliki sifat pengikatan seperti semen. *Silica fume* memiliki berbagai manfaat dalam beton SCC, terutama dalam meningkatkan kuat tekan dan kepadatan beton. Penelitian yang dilakukan oleh Sundariyati dkk (2024), menggunakan SikaFume sebesar 10% dari berat semen sebagai bahan tambah beton SCC. Sehingga, pada penelitian ini digunakan SikaFume sebesar 10% dari berat semen sebagai bahan tambah beton SCC.



Gambar 3.1 *Silica Fume*

3.2.6 *Superplasticizer*

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini, yaitu bahan tambah dengan tipe F, berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* yang digunakan adalah Sika *viscocrete-1003*, yang merupakan produk yang khusus dikembangkan untuk produksi beton dengan mengurangi penggunaan air dalam jumlah yang besar. Selain itu, *superplasticizer* dapat meningkatkan kekuatan beton, memberikan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tahan lama, serta mengurangi segregasi dan *bleeding* secara signifikan pada beton. Pada penelitian ini digunakan dosis sesuai anjuran dari PT. Sika, yaitu 0,6 – 2,0% dari berat semen untuk beton SCC. Penelitian yang dilakukan Wibowo dkk (2018), dosis yang *viscocrete-1003* yang digunakan sebesar 1,5% dari berat semen pada beton SCC. Berikut merupakan karakteristik dari Sika *viscocrete 1003* yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.1 dan berikut.

Tabel 3.2 Karakteristik *Superplasticizer* Sika *Viscocrete-1003*

Karakteristik	Viscocrete-1003
Tipe	<i>Aqueous solution of modified polycarboxylate copolymers</i>
Karakter	Cairan/Coklat gelap
<i>Specific gravity</i>	1,065 ± 0,01 kg/ltr
Anjuran dosis	0,6 - 2,0% dari berat semen

Sumber: PT. Sika Indonesia (2013)



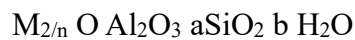
Gambar 3.2 *Superplasticizer Viscocrete-1003*
(Sumber: PT. Sika Indonesia)

3.2.7 Zeolit

Zeolit adalah mineral berhidrat yang didapatkan secara alami di kawasan sedimen daerah gunung api dengan komposisi yang bervariasi, namun umumnya

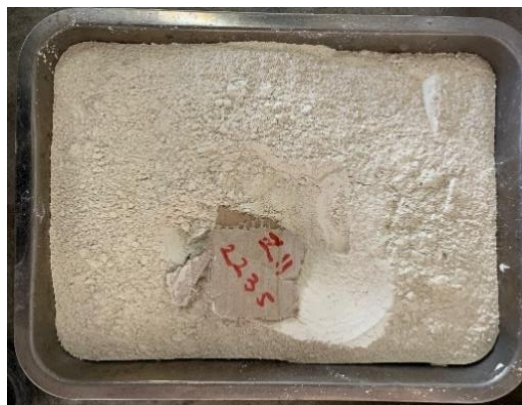
mengandung alumino-silikat. Dengan struktur kristal berbentuk kerangka dan pori-pori berukuran molekul, zeolit berperan sebagai katalis, penukar ion, adsorben, serta aplikasi saringan molekuler. Sehingga, zeolit sering dimanfaatkan sebagai imbuhan pakan ternak, media filtrasi air dan penyerap kotoran hewan. Selain itu, penggunaan zeolit berukuran 200 mesh dimanfaatkan sebagai makanan ternak secara proporsional dapat mereduksi serangan penyakit pada sistem pencernaan binatang (Al-Jabri & Soegianto, 2014).

Menurut Las dan Zamroni (2002), secara umum komposisi kimia mineral zeolit dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal sebagai berikut:



atau $M_{c/n} \{ (AlO_2)_c (SiO_2)_d \} \cdot bH_2O$.

Zeolit alam termasuk memiliki sifat pozzolanik karena kandungan seperti SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang biasanya terdapat pada pozzolan. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dapat bereaksi dengan CH dengan adanya air membentuk senyawa pengikat seperti yang terjadi pada saat proses hidrasi semen. Adapun gambar zeolit berukuran 200 mesh dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.3 Zeolit 200 Mesh

Pada penelitian ini zeolit digunakan sebagai pengganti sebagian semen pada beton SCC mutu tinggi. Hal ini karena beton yang memiliki mutu tinggi atau sangat tinggi, air yang digunakan tidak cukup untuk menghidrasi seluruh semen yang digunakan, sehingga semen yang tidak terhidrasi tidak berperan dalam

pengembangan kekuatan beton. Oleh karena itu, untuk mengganti bagian semen yang tidak terhidrasi tersebut dapat digunakan bahan pozzolan (Tran et al., 2019). Perbandingan komposisi kimia semen PC tipe 1 dan zeolit dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Komposisi Kimia *Portland Cement* (PC) dan Zeolit Alam

Komposisi Kimia (%)	Semen PC	Zeolit Alam
SiO ₂	21,46	68,4
Al ₂ O ₃	5,55	12,5
Fe ₂ O ₃	3,46	1,32
CaO	63,95	1,51
MgO	1,86	1,4
SO ₃	1,42	0,45
K ₂ O	0,54	1,3
Na ₂ O	0,26	2,2
Sifat Fisik	Semen	Zeolit Alam
Berat Jenis	3,15	2,19
Luas permukaan spesifik (m ² /g)	0,33	0,41
Kepadatan relatif	3,15	2,20

Sumber: Nia et al., (2019)

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Mix design merupakan proses beton yang disesuaikan dengan spesifikasi tertentu, seperti kekuatan, *workability*, dan ketahanan terhadap kondisi cuaca. Penelitian ini menggunakan SNI 03-6468-2000 sebagai acuan proporsi campuran beton dengan kekuatan tinggi, yaitu f'_c lebih dari 41,4 MPa. Penelitian ini juga menggunakan EFNARC sebagai acuan dalam menentukan proporsi material yang digunakan untuk beton SCC.

Dalam proses *mix design*, ditetapkan persentase dan kombinasi dari bahan-bahan pokok seperti air, semen, agregat, dan *admixtures* untuk memperoleh campuran beton yang optimum. Perencanaan proporsi campuran beton mengikuti prosedur sesuai standar di atas sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c) pada umur 28 hari.

2. Menentukan kuat tekan beton rata-rata (f'_{cr}) yang ditargetkan berdasarkan campuran coba di laboratorium menggunakan persamaan 3.10 dan 3.11 berikut.

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9,66}{0,90} \quad (3.10)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 \times S \quad (3.11)$$

Dengan keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa),

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa),

S = Deviasi Standar.

3. Menetapkan nilai *slump*

Beton kekuatan tinggi dengan *superplasticizer* dapat menggunakan nilai *slump* lebih besar dari 200 mm tetapi tetap dibatasi untuk beton SCC.

4. Menetapkan ukuran agregat kasar maksimum

Ukuran agregat kasar maksimum ditentukan berdasarkan kuat tekan rata-rata yang telah ditentukan. Ukuran agregat maksimum 20-25 mm untuk kuat tekan rata-rata kurang dari 62,1 MPa dan ukuran agregat maksimum 10-15 mm untuk kuat tekan rata-rata lebih besar dari 62,1 MPa.

5. Menetapkan kadar agregat kasar optimum

Kadar optimum agregat kasar dapat ditentukan menggunakan fraksi volume agregat kasar pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Fraksi Volume Agregat Kasar

Ukuran (mm)	10	15	20	25
Fraksi Volume Padat Kering Oven	0,65	0,68	0,72	0,75

Sumber: SNI 03-6468-2000

6. Menetapkan estimasi kadar air dan kadar udara

Kebutuhan kadar air dan kadar udara sebelum diberi *superplasticizer* dapat diestimasi menggunakan Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Estimasi Kebutuhan Kadar Air Pencampuran dan Kadar Udara Beton Segar Berdasarkan Pasir dengan 35% Rongga Udara

Air Pencampur (Liter/m³)					Keterangan
Slump	Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)				
mm	10	15	20	25	
25-50	184	175	169	166	
50-75	190	184	175	172	
75-100	196	190	181	178	
Kadar Udara	3	2,5	2	1,5	Tanpa <i>Superplasticizer</i>
(%)	2,5	2	1,5	1	Dengan <i>Superplasticizer</i>

Sumber: SNI 03-6468-2000

Kadar rongga udara aktual dan kadar air koreksi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.12 dan 3.13 berikut.

$$V = \frac{[1 - \text{berat isi padat kering oven}]}{\text{berat jenis relatif (kering)}} \times 100 \quad (3.12)$$

$$\text{Koreksi kadar air (liter/m}^3\text{)} = [V - 35] \times 4,75 \quad (3.13)$$

Kemudian kebutuhan air total dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$\text{Kebutuhan air total} = \text{estimasi kebutuhan air} + \text{koreksi} \quad (3.14)$$

Dengan keterangan:

V = Kadar rongga udara (%).

- Menetapkan rasio air dengan bahan bersifat semen

Rasio $W/(c+p)$ untuk beton dengan *superplasticizer* dapat dihitung menggunakan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Rasio $W/(c+p)$ Maksimum (dengan *Superplasticizer*)

Kekuatan Lapangan f'_{cr} (MPa)		W / (c+p)			
		Ukuran Agregat 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

Lanjutan Tabel 3.6 Rasio W/(c+p) Maksimum (dengan *Superplasticizer*)

Kekuatan Lapangan f'cr (MPa)	W / (c+p)				
	Ukuran Agregat Maksimum (mm)				
	10	10	10	10	10
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,4	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,4
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69,0	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,3
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,3	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	0,3	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI 03-6468-2000

8. Menetapkan kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen per m³ beton dapat ditentukan dengan persamaan 3.15 berikut.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen (m}^3\text{)} = \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio W/(c+p)}} \quad (3.15)$$

3.4 Perawatan Benda Uji

Dalam pembuatan benda beton, terdapat serangkaian proses perawatan yang dilakukan untuk memastikan bahwa benda uji tetap dalam kondisi optimum dan siap untuk diuji. Berdasarkan SNI 2493 (2011) Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, terdapat ketentuan perawatan benda uji sebagai berikut.

1. Menutup benda uji menggunakan goni basah dan plastik untuk menghindari penguapan air pada beton.
2. Membuka cetakan 24 jam $\pm$ 8 jam setelah pencetakan.
3. Merawat benda uji dengan merendam dalam air sesuai umur beton yang direncanakan, yaitu 28 hari.

3.5 Pengujian Karakteristik SCC

Menurut (EFNARC, 2005), terdapat banyak metode pengujian untuk mengkarakterisasi sifat-sifat SCC dengan parameter yang berbeda-beda. Berikut

merupakan beberapa metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui beton SCC telah memenuhi persyaratan.

1. *Slump-flow Test*

Pengujian *slump-flow* merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan aliran beton . Pengujian dilakukan menggunakan kerucut *abrams* dan pelat dasar yang ditandai dengan lingkaran konsentris berdiameter 500 mm untuk mengetahui sebaran aliran beton segar yang diuji. Waktu (T_{50}) yang dibutuhkan beton SCC segar untuk mengalir keluar dari kerucut dan menyebar ke pelat dasar hingga menyentuh diameter 500 mm adalah 2-5 detik. Semakin rendah nilai T_{50} yang dihasilkan maka kemampuan mengalir beton semakin baik. Kemudian, hasil *slump-flow* (SF) yang dapat diterima berdasarkan EFNARC 2005 dibagi menjadi 3 dilihat pada tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Kelas *Slump-Flow*

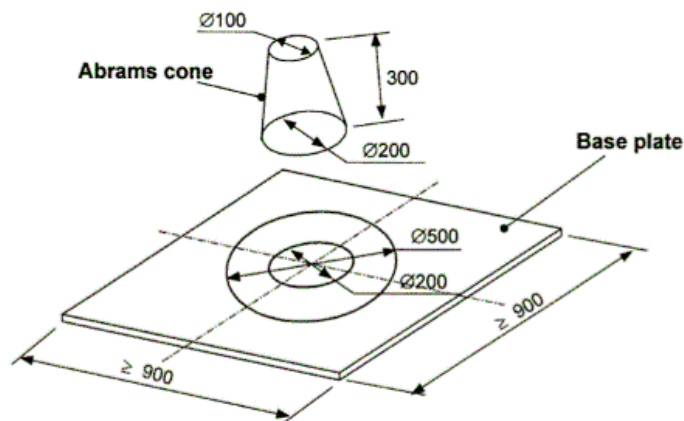
Kelas	<i>Slump-flow</i> (mm)
SF1	550 - 650
SF2	660 - 750
SF3	760 - 850

Sumber: EFNARC, 2005

Penerapan kelas nilai *slump-flow* menurut EFNARC 2005 secara umum adalah sebagai berikut.

- a. SF1 (550-650 mm) diperuntukan untuk struktur beton tanpa tulangan atau sedikit tulangan yang dicor dari atas dengan tekanan bebas.
- b. SF2 (660-750 mm) cocok untuk banyak aplikasi normal, seperti dinding dan kolom.
- c. SF3 (760-850 mm) biasanya diproduksi dengan ukuran agregat maksimum yang kecil (kurang dari 16 mm) dan digunakan untuk aplikasi vertikal pada struktur yang sangat padat, struktur dengan bentuk yang rumit, atau untuk pengisian di bawah bekisting. SF3 sering kali memberikan permukaan akhir yang lebih baik daripada SF2 untuk aplikasi vertikal normal, namun ketahanan segregasi lebih sulit dikendalikan

Semakin tinggi kemampuan aliran beton maka akan mempermudah campuran beton memenuhi cetakan atau bekisting dengan beratnya sendiri (*filling ability*). Adapun posisi dan dimensi alat yang digunakan pada pengujian *slump-flow* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



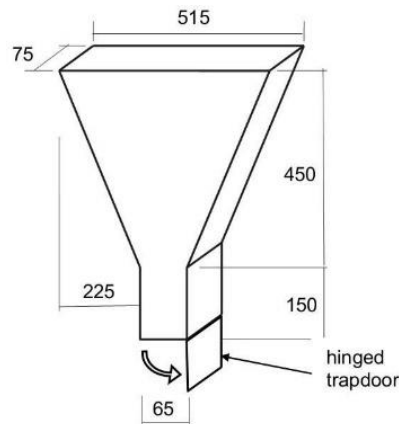
Gambar 3.4 Kerucut Abrams dan Pelat Dasar pada Pengujian *Slump-Test*
(Sumber: Souza et al., 2018)

Cara pengujian *slump-flow* menurut (EFNARC, 2005), dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Menyiapkan kerucut abrams dan pelat dasar dengan meletakkannya pada permukaan yang rata.
- b. Meletakkan kerucut abrams di tengah atas pelat kemudian mengisinya dengan campuran beton hingga penuh tanpa ditumbuk.
- c. Mengangkat kerucut abrams.
- d. Mencatat waktu yang diperlukan (T_{50}) sebesar 2-5 detik dengan ukuran diameter sebaran aliran beton (SF) yang diizinkan.

2. *V-Funnel Test*

Pengujian *v-funnel* merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam mengisi ruang (*filling ability*) serta kemampuan dalam menahan segregasi (*segregation resistance*). Adapun alat yang digunakan pada pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.5 Alat Uji V-Funnel

(Sumber: Kingdom & Kong, 2017)(Sumber: Kingdom & Kong, 2017)

Cara pengujian *v-funnel* menurut (EFNARC, 2005) dapat dilihat sebagai berikut.

- Menyiapkan *v-funnel* dan beton segar.
- Menuangkan beton segar ke dalam *v-funnel* secara perlahan tanpa melakukan pemadatan.
- Membuka pintu *v-funnel* dan membiarkannya keluar karena gravitasi.
- Mencatat waktu dari terbukanya pintu hingga beton mengalir keluar semuanya. Waktu yang disyaratkan (EFNARC, 2005) adalah sebesar 3-15 detik.
- Setelah 5 menit dari keluarnya beton segar, segregasi akan menunjukkan aliran beton yang kurang kontinu seiring bertambahnya waktu alir.

3.6 Kuat Tekan Beton

Kemampuan beton dalam memikul atau menahan gaya tekan per satuan luas disebut dengan kuat tekan beton. Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton, perlu dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder. Pengujian tersebut dapat dilakukan berdasarkan SNI 1974 (2011) Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, nilai kuat tekan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.16 berikut.

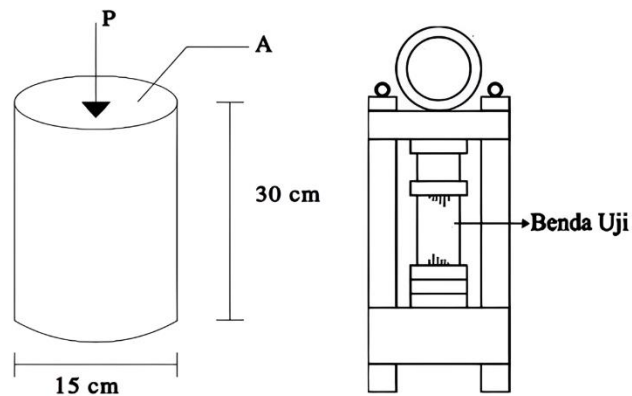
$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (3.16)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

Kuat Tekan = Nilai kuat tekan menggunakan benda uji silinder (MPa),

P = Gaya tekan aksial (N),

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²).



Gambar 3.6 Alat Uji Kuat Tekan
(Sumber: SNI 1974, 1190)

3.7 Kuat Tarik Belah Beton

Kemampuan beton dalam menahan gaya tarik belah merupakan gaya yang bekerja tegak lurus sumbu benda uji. Tujuan dari pengujian tarik belah beton adalah untuk memahami hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan 3.17 berikut.

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi L D} \quad (3.17)$$

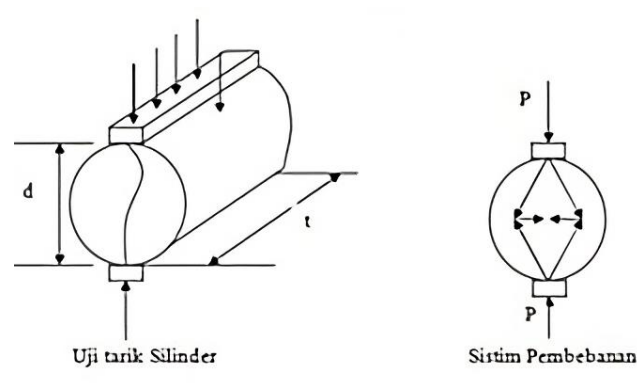
Dengan keterangan sebagai berikut.

f_{ct} = Kuat tarik belah (MPa),

P = Beban maksimum (N),

L = Panjang benda uji silinder (mm),

D = Diameter benda uji silinder (mm).



Gambar 3.7 Pengujian Kuat Tarik Belah
(Sumber: SNI 03-2491, 2002)

3.8 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan kemampuan beton dalam menahan tegangan sebelum mengalami deformasi. Berdasarkan ASTM C-469-94, modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan 3.18 berikut.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_1 - 0,00005} \quad (3.18)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

E = modulus elastisitas beton (MPa),

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

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

ε_2 = regangan yang terjadi pada S_2 .

Berdasarkan SNI 2847 (2019), modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan perhitungan pendekatan empiris yang dapat dilihat pada persamaan 3.19 berikut.

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.19)$$

Dengan nilai W_c di antara 1400 dan 2560 kg/m³, keterangan sebagai berikut.

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa),

W_c = Berat volume beton normal (kg/m³),

f'_c = Kuat tekan beton (MPa).

Apabila kondisi beton normal maka modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan 3.20 berikut.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.20)$$

Untuk beton normal, keterangan sebagai berikut.

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa),

f'_c = Kuat tekan beton (MPa).

Menurut FHWA (2000) dan NBR-6118 (2003) modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22 berikut.

$$E_c = 3837 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.21)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas (MPa),

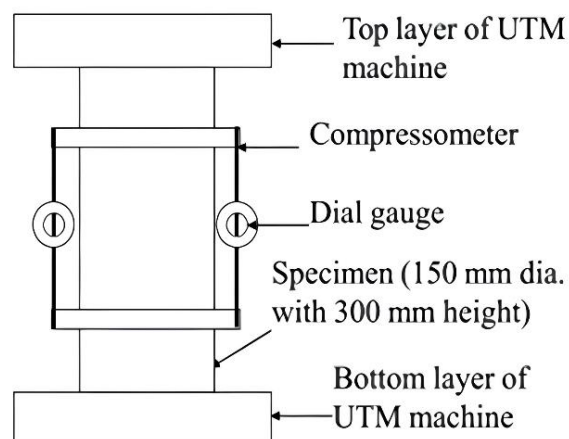
f'_c = kuat tekan beton (MPa).

$$E_c = 5600 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.22)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas (MPa),

f'_c = kuat tekan beton (MPa).



Gambar 3.8 Pengujian Modulus Elastisitas
(Sumber: ASTM C-469-94)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilakukan untuk mengumpulkan, mengidentifikasi dan menganalisis data maupun informasi dari penelitian untuk menilai suatu pengaruh dari variabel yang akan diteliti. Penelitian ini menguji beton SCC dengan campuran zeolit sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase 0%, 8%, 9%, 10% dan 11%. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh zeolit sebagai pengganti sebagian semen dengan bahan tambah *viscocrete-1003* terhadap kuat tekan beton SCC.

4.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan variabel sebagai berikut.

1. Variabel bebas
Variabel bebas dari penelitian ini adalah kadar zeolit.
2. Variabel terikat
Variabel terikat dari penelitian ini adalah kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton.
3. Variabel kontrol
Variabel kontrol dari penelitian ini adalah kuat tekan rencana, faktor air semen, agregat kasar, agregat halus, air, *silica fume* 10% dari berat semen dan *viscocrete-1003* sebesar 1,5% dari berat semen.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbangan
Timbangan digunakan untuk menimbang material dari hasil perhitungan *mix design* selama penelitian.
2. Kerucut Abrams dan *table flow*

Kerucut abram dan *table flow* merupakan alat yang digunakan untuk pengujian *slump-flow*.

3. *V-funnel*

V-funnel merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kemampuan beton dalam mengisi ruang (*filling ability*) dan menahan segregasi (*segregation resistance*).

4. *Concrete Mixer*

Concrete mixer merupakan alat untuk mengaduk maupun mencampur bahan-bahan penyusun beton.

5. Bekisting Beton

Bekisting atau cetakan beton merupakan alat yang digunakan untuk mencetak benda uji. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder yang berdiameter sebesar 15 cm dan tinggi sebesar 30 cm.

6. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan untuk menguji kekuatan tekan beton dan memberikan hasil berupa data mengenai perilaku beton setelah mengalami tekanan tertentu.

4.4 Bahan-bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen *portland* yang digunakan adalah PC (*Portland Cement*) tipe I.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Clereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan ukuran maksimum 10 mm.

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini tidak bercampur dengan material lain berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil UII.

5. Zeolit yang digunakan didapatkan dari Klaten, Jawa Tengah dengan ukuran 200 mesh.
6. *Superplasticizer* tipe F (*Water Reducing, High Range Admixtures*), yaitu *viscocrete*-1003.

4.5 Benda Uji

Penelitian ini menggunakan pengujian terhadap beton SCC dengan zeolit sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 0%, 8%, 9%, 10%, 11% dan bahan tambah *viscocrete*-1003 sebesar 1,5% dari berat semen. Setiap varian beton akan dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur beton 28 hari. Jumlah sampel minimal setiap pengujian berjumlah 3 buah benda uji sebagaimana yang disyaratkan SNI 2943 (2011). Rincian varian benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Kode Benda Uji	Kadar Zeolit (%)	Silica Fume (%)	Kadar <i>Viscocrete</i> -1003 (%)	Kuat Desak dan Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah	Jumlah Benda Uji
Z0	0	10	1,5	3	3	6
Z8	8	10	1,5	3	3	6
Z9	9	10	1,5	3	3	6
Z10	10	10	1,5	3	3	6
Z11	11	10	1,5	3	3	6
Total Benda Uji						30

Keterangan:

- Z0 = Benda uji variasi zeolit 0%.
 Z8 = Benda uji variasi zeolit 8%.
 Z9 = Benda uji variasi zeolit 9%.
 Z10 = Benda uji variasi zeolit 10%.
 Z11 = Benda uji variasi zeolit 11%.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan secara bertahap, meliputi persiapan; perencanaan campuran beton (*mix design*); percobaan pembuatan dan pengujian benda uji; pembuatan dan perawatan benda uji; pengujian benda uji; pengolahan data; analisis data; pembahasan; kesimpulan.

4.6.1 Persiapan

Persiapan penelitian merupakan tahapan pertama yang dilakukan dengan mempersiapkan kebutuhan penelitian seperti penyiapan material dan alat yang dibutuhkan selama penelitian berlangsung.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar dan agregat halus dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang akan digunakan dalam perencanaan campuran (*mix design*). Pengujian agregat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus (SNI 03-1970-1990).
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SNI 03-1969-1990).
3. Pengujian analisa saringan agregat halus (SNI 03-1968-1990).
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar (SNI 03-1968-1990).
5. Pengujian berat volume padat/gembur agregat halus (SNI 03-4804-1998).
6. Pengujian berat volume padat/gembur agregat kasar (SNI 03-4804-1998).
7. Pengujian lolos saringan no.200 (SNI 03-4142-1996).

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Tahap perencanaan *mix design* merupakan tahap perancangan campuran beton yang akan diteliti. Perencanaan *mix design* pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-6468-2000, dengan detail perhitungannya dapat dilihat pada bab V pembahasan.

4.6.4 Percobaan (*Trial*) Pembuatan Benda Uji

Percobaan pembuatan benda uji dilakukan untuk menyesuaikan perencanaan campuran (*mix design*) dan mengetahui hasil dari percobaan uji telah memenuhi mutu yang direncanakan.

4.6.5 Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji beton dilakukan berdasarkan hasil dari *mix design* dan percobaan (*trial*). Bahan campuran beton seperti: air, semen, agregat halus, agregat kasar dan *superplasticizer* dicampur menggunakan alat pengaduk beton (*concrete mixer*). Selanjutnya, beton segar diuji (pengujian karakteristik beton scc) dan dicetak ke dalam cetakan/bekisting beton.

4.6.6 Pengujian Karakteristik Beton SCC

Uji karakteristik beton SCC meliputi uji *slump-flow* dan uji *v-funnel*. Pengujian karakteristik beton SCC terdiri dari: *filling ability* dan *segregation resistance* dilakukan sesuai persyaratan (EFNARC, 2005).

4.6.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton dilakukan setelah melepas beton yang telah mengeras dari bekisting dengan merendam ke dalam air hingga memenuhi umur yang direncanakan.

4.6.8 Pengujian Benda Uji

1. Uji Kuat Tekan

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder berukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 1974 (2011) Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Mengambil benda uji dari bak perendam sehari (24 jam) sebelum pengujian dilakukan.
- b. Menimbang dan mencatat berat benda uji.
- c. Mengukur dan mencatat dimensi benda uji.
- d. Meletakkan benda uji pada landasan mesin uji tekan secara sentris dan memastikan dial menunjukkan nilai nol.
- e. Menjalankan mesin tekan dengan pembebanan konstan sekitar 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/detik hingga benda uji hancur.
- f. Mencatat beban maksimum yang diterima benda uji.

2. Uji Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada saat pengujian uji tekan berlangsung dengan memasang alat kompresometer pada benda uji. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Mengukur dimensi benda uji.
- b. Memasang alat kompresometer-ekstensometer pada benda uji dan alat ukur deformasi (*dial gauge*) pada mesin uji tekan.
- c. Meletakkan benda uji ke mesin uji tekan.
- d. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan antara 207 kPa/detik sampai 275 kPa/detik hingga benda uji hancur.
- e. Mencatat regangan/deformasi setiap peningkatan beban 10 kN.

3. Uji Kuat Tarik Belah

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan dengan benda uji berbentuk silinder. Nilai kuat diperoleh dari hasil pembebanan benda uji yang ditempatkan secara horizontal sejajar dengan permukaan meja penekan mesin pengujian tekan. Pengujian dilakukan berdasarkan dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Mengukur dimensi dan menimbang benda uji.
- b. Meletakkan dua bantalan bantu pembebanan.
- c. Meletakkan benda uji di atas bantalan secara mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.
- d. Menjalankan mesin uji tekan dengan pembebanan konstan sekitar 0,7 MPa/detik sampai 1,4 MPa/detik hingga benda uji hancur/terbelah.
- e. Mencatat beban maksimum yang diterima benda uji.

4.6.9 Pengolahan Data

Tahap ini dilakukan setelah memperoleh data mentah hasil uji untuk diolah dengan perhitungan berdasarkan landasan teori, sehingga memperoleh nilai yang akan menjadi parameter analisis data.

4.6.10 Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan dengan membandingkan parameter hasil olah data berdasarkan variabel yang telah ditentukan untuk mendapatkan suatu perbedaan nilai.

4.6.11 Pembahasan

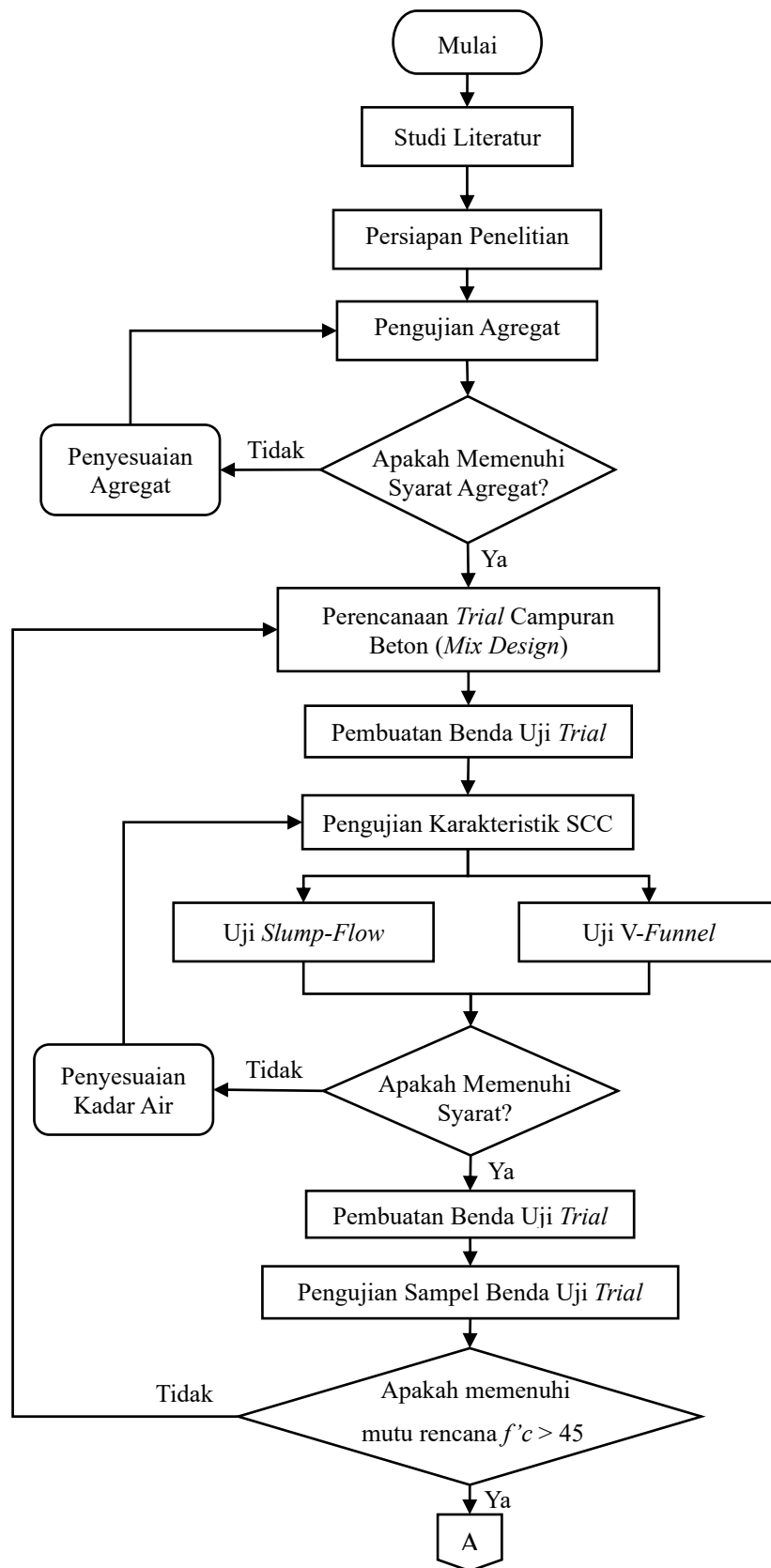
Tahap ini merupakan pembahasan dari hasil analisis data yang dilakukan untuk menguraikan hasil, membandingkan dengan penelitian terdahulu dan mengaitkan hasil dengan tujuan penelitian.

4.6.12 Kesimpulan dan Saran

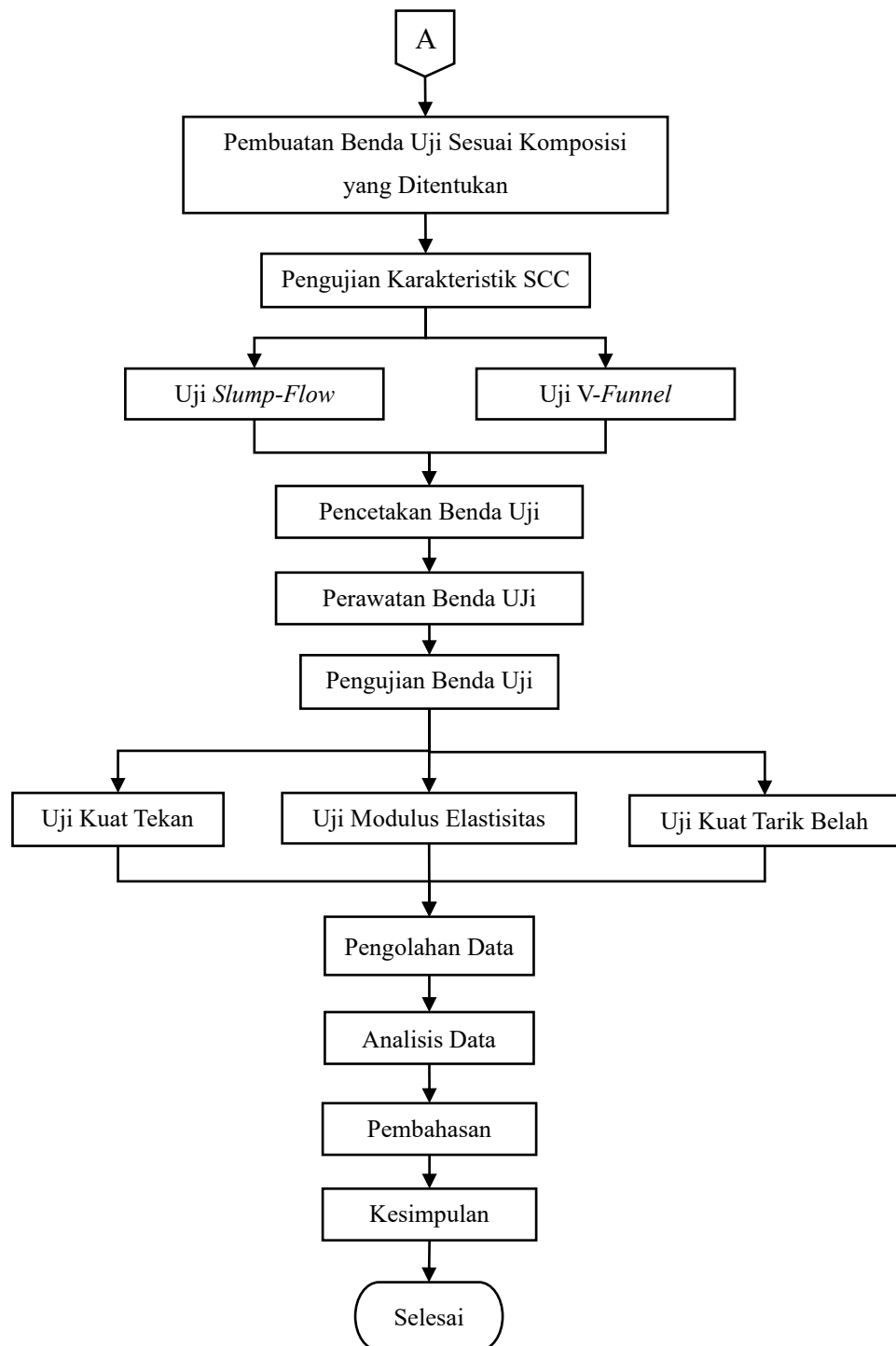
Tahap ini adalah hasil dari pembahasan yang menjadi jawaban akhir dari penelitian yang dilakukan. Dari kesimpulan yang diperoleh terdapat saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya.

4.6.13 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan sebelum merencanakan campuran (*mix design*) SCC. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat kasar dan agregat halus. Adapun pengujian agregat sebagai berikut.

5.5.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume dan pengujian lolos saringan no.200 (pengujian kandungan lumpur). Hasil dari pengujian agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990 dengan menggunakan 2 sampel uji pasir dari Sungai Progo. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 menggunakan Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.4 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{479}{852+500-1167} \\ &= 2,589\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{500}{852+500-1167} \\ &= 2,703\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$$

$$= \frac{479}{852+479-1167} = 2,921$$

d. Penyerapan

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{500-479}{479} \times 100\% \\ &= 4,384 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1. Dengan cara perhitungan yang sama, sampel 2 dihitung dan didapatkan rekapitulasi hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk)	479	477	478
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1167	1166	1167
Berat piknometer berisi air (B)	852	852	852
Berat jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,59	2,56	2,58
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,70	2,69	2,69
Berat jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,92	2,93	2,92
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	4,38	4,82	4,60

Berdasarkan perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 dan sampel 2, didapatkan nilai rata-rata jenis jenuh kering muka, yaitu sebesar 2,69.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus menggunakan metode SNI 1968-1990. Hasil pengujian Analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

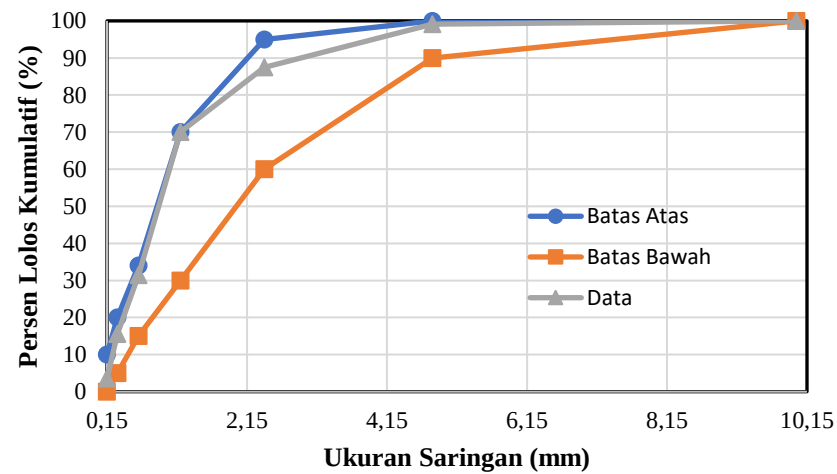
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,80	17	0,85	0,85	99,15
2,40	233	11,67	12,52	87,48
1,20	349	17,48	29,99	70,01
0,60	770	38,56	68,55	31,45
0,30	317	15,87	84,43	15,57
0,15	241	12,07	96,49	3,51
Sisa	70	3,51	100,00	0
Jumlah	1997	100	393	
MHB=				2,93

Dari data hasil pengujian analisis saringan agregat halus pada tabel 5.2, kemudian dilakukan perhitungan persen berat hilang dan modulus halus butir menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persen berat hilang} &= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\% \\
 &= \frac{2000-1997}{2000} \times 100\% \\
 &= 0,15\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{292,839}{100} \\
 &= 2,93
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai modulus halus butir sebesar 2,93. Berdasarkan SNI 03-1750-1990, modulus halus butir adalah sebesar 1,5-3,8, sehingga telah memenuhi syarat. Dari data tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Volume Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus menggunakan metode SNI 4804-1998. Pengujian dilakukan menggunakan 2 sampel untuk masing-masing uji. Adapun perhitungan berat volume gembur dan volume padat agregat halus sampel 1 menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19752 - 11283 \\
 &= 8469 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times t \\
 &= 5336,84 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8469}{5336,84} \\
 &= 1,587 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 20427 - 11351
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 9076 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30 \\
 &= 5336,84 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{9076}{5336,839} \\
 &= 1,701 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, berat volume gembur dan volume padat pada sampel 2 dapat diketahui. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat halus pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gram	11283	11351	11317
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gram	19752	19247	19499,5
Berat agregat (W3), gram	8469	7896	8182,5
Diameter tabung (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi tabung (t), cm	30	30	30
Volume tabung (V), cm ³	5336,84	5336,84	5336,84
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,587	1,480	1,533

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gram	11351	11283	11317
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gram	20427	20280	20353,50
Berat agregat (W3), gram	9076	8997	9036,50
Diameter tabung (d), cm	15,05	15,03	15,04
Tinggi tabung (t), cm	30	30	30

Lanjutan Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Volume tabung (V), cm ³	5336,84	5322,66	5329,75
Berat volume padat, gram/cm ³	1,701	1,690	1,695

Dari Tabel 5.3 dan 5.4, nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus, yaitu sebesar 1,53 gram/cm³. Sedangkan, nilai rata-rata berat volume padat agregat halus, yaitu sebesar 1,70 gram/cm³.

4. Pengujian Lolos Saringan No.200

Pengujian lolos saringan no.200 dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur di dalam pasir. Adapun perhitungan kadar lumpur dalam pasir sebagai menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 498}{500} \times 100\% \\
 &= 0,4\%
 \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, kandungan lumpur pada sampel 2 dapat diketahui. Adapun rekapitulasi hasil pengujian lolos saringan No.200 pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah di cuci (W2), gram	498	495	497
Berat yang lolos ayakan No. 200, %	0,40	1,00	0,7

Dari hasil pengujian pada Tabel 5.5 di atas, didapatkan nilai berat lolos ayakan no.200, yaitu rata-rata sebesar 0,7%. Nilai tersebut memenuhi standar PUBI 1982, yaitu maksimal 5%.

5.5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume dan pengujian kandungan lumpur. Hasil dari pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990 dengan menggunakan 2 sampel. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 menggunakan Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.4 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ &= \frac{4905}{5000 - 3136} \\ &= 2,63\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3136} \\ &= 2,68\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ &= \frac{4905}{4905 - 3136} \\ &= 2,77\end{aligned}$$

d. Penyerapan

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4905}{4905} \times 100\% \\ &= 1,94\%\end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sampel 1. Dengan cara perhitungan yang sama, sampel 2 dihitung dan didapatkan rekapitulasi hasil pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4905	4923	4897
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi kerikil dan air (Ba)	3136	3158	3144
Berat jenis curah BK/(BJ-Ba)	2,63	2,67	2,65
Berat jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,68	2,71	2,70
Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,77	2,79	2,78
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,94	1,56	1,75

Berdasarkan pada hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, diperoleh nilai rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,70.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar menggunakan metode SNI 1968-1990. Agregat kasar yang digunakan memiliki batas ukuran maksimum sebesar 10 mm. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

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

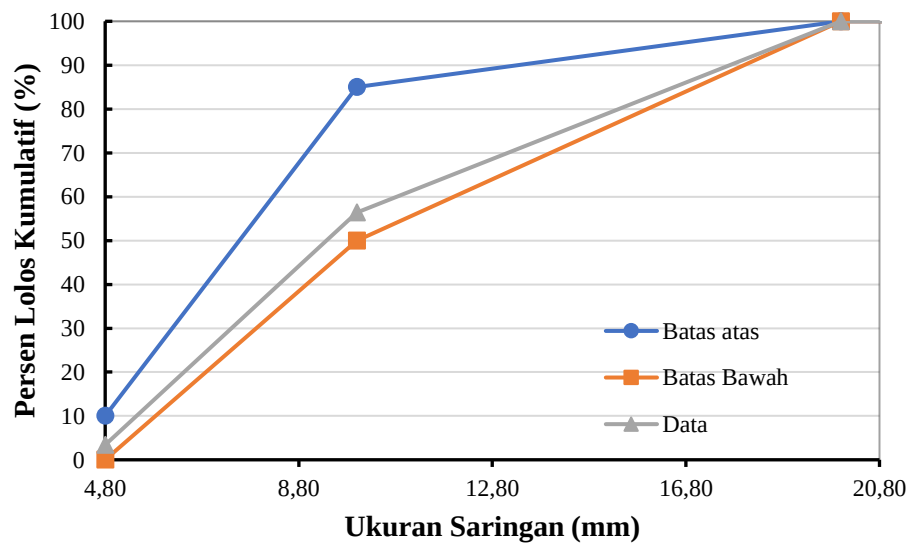
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0	100,00
20,00	0	0,00	0	100,00
10,00	2180	43,62	44	56,38
4,80	2648	52,98	96,60	3,40
2,40	155	3,10	99,70	0,30
1,20	2	0,04	99,74	0,26
0,60	0	0	99,74	0,26
0,30	0	0	99,74	0,26
0,15	0	0	99,74	0,26
Sisa	13	0,26	100,00	0
Jumlah	4998	100	638,88	
MHB=				6,389

Dari data hasil pengujian analisis saringan agregat halus pada tabel 5.2, kemudian dilakukan perhitungan persen berat hilang dan modulus halus butir menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persen berat hilang} &= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\% \\ &= \frac{5000-4998}{5000} \times 100\% \\ &= 0,04\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus halus butir} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{639}{100} \\ &= 6,39\%\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai modulus halus butir sebesar 6,39. Berdasarkan SNI 03-1750-1990, modulus halus butir adalah sebesar 1,5-8, sehingga telah memenuhi syarat. Dari data tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Gradasi Agregat Kasar

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Volume Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus menggunakan metode SNI 4804-1998. Pengujian dilakukan menggunakan 2 sampel untuk

masing-masing uji. Adapun perhitungan berat volume gembur dan volume padat agregat halus sampel 1 menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}\text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 18217 - 11083 \\ &= 7137 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,02^2 \times 30,24 \\ &= 5358,11 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7137}{5358,11} \\ &= 1,33 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}\text{Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19045 - 11083 \\ &= 7962 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,02^2 \times 30,24 \\ &= 5358,11 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7962}{5358,11} \\ &= 1,503 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, berat volume gembur dan volume padat pada sampel 2 dapat diketahui. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat agregat halus pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11083	11083	11083
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18217	18177	18197
Berat Agregat (W3)	7134	7094	7114
Diameter Tabung (d)	15,02	15,02	15
Tinggi Tabung (t)	30,24	30,24	30
Volume Tabung (V)	5358	5358	5358
Berat Volume Gembur	1,331	1,324	1,328

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11083	11083	11083
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19045	19228	19137
Berat Agregat (W3)	7962	8145	8054
Diameter Tabung (d)	15,02	15,02	15
Tinggi Tabung (t)	30,24	30,24	30
Volume Tabung (V)	5358,11	5358,11	5358,11
Berat Volume Padat	1,486	1,520	1,503

5.2. Desain Campuran SCC Mutu Tinggi

Desain campuran beton SCC mutu tinggi pada penelitian ini menggunakan metode SNI 03-6468-2000, dengan mutu rencana sesuai dengan syarat minimal beton mutu tinggi $f'_c > 41,4$ MPa, yaitu (f'_c) sebesar 45 MPa pada usia 28 hari. Terdapat langkah-langkah perhitungan dalam desain campuran beton sebagai berikut.

1. Data Awal Desain Campuran SCC

Data hasil pengujian agregat halus berupa pasir yang digunakan dalam desain campuran beton SCC adalah sebagai berikut.

- a. Berat jenis = 2,70

b. Penyerapan air = 4,60

c. Modulus halus butir = 2,93

d. Berat volume padat = 1,70

Data hasil pengujian agregat kasar berupa kerikil dengan ukuran maksimal 10 mm yang digunakan dalam desain campuran beton SCC adalah sebagai berikut.

a. Berat jenis = 2,70

b. Penyerapan air = 1,75

c. Modulus halus butir = 6,39

d. Berat volume padat = 1,50

Terdapat bahan utama lainnya, seperti semen Portland Tipe 1 bermerk Semen Gresik dengan berat jenis 3,15 dan superplasticizer tipe F, yaitu *viscocrete-1003* dari PT. Sika Indonesia. Kemudian, zeolit dengan ukuran 200 mesh yang berasal dari Klaten.

2. Perhitungan Desain Campuran SCC

a. Menentukan nilai *slump* dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan. Kuat tekan beton yang direncanakan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10 sebagai berikut.

Dengan target *slump* sebesar 50-75 mm

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

$$f'_{cr} = 60,73 \text{ MPa}$$

b. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum

Nilai kuat rencana yang diperoleh sebesar 60,73 MPa, maka didapatkan ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm. Pada penelitian ini digunakan kerikil dengan ukuran agregat maksimum sebesar 10 mm.

c. Menentukan proporsi agregat kasar optimum

Ukuran agregat kasar maksimum yang digunakan, yaitu sebesar 10 mm, berdasarkan Tabel 3.4 didapatkan fraksi volume agregat kasar optimum sebesar 0,65.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= 0,65 \times 1503 \\ &= 976,95 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d. Menentukan estimasi kadar air dan udara

Estimasi kadar air dan udara didapatkan berdasarkan nilai *slump* dan ukuran agregat maksimum sesuai pada Tabel 3.5. Maka, didapatkan nilai estimasi kebutuhan air sebesar 196 liter/m³ dan kadar udara 2,5%. Kemudian dilakukan perhitungan koreksi kadar rongga udara dan kadar air dengan persamaan 3.12 dan 3.13 berikut.

$$V = \left(1 - \frac{1695}{2,695 \times 1000}\right) \times 100 = 37,106\%$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi kadar air} &= (37,106 - 35) \times 4,75 \\ &= 10,00 \text{ liter/m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka kebutuhan air total dapat diketahui menggunakan persamaan 3.14.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air total} &= 190 + 10 \\ &= 200 \text{ liter/m}^3 \end{aligned}$$

Maka, diperoleh kebutuhan air total sebesar 200 liter/m³.

Menentukan faktor air semen

Setelah kuat rencana telah didapatkan, maka faktor air semen dapat diketahui dengan menginterpolasi berdasarkan Tabel 3.6 sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan lapangan} = 0,9 \times 60,73 = 54,66$$

$$Y = 54,66$$

$$Y_1 = 48,30$$

$$Y_2 = 55,20$$

$$X = (\text{nilai FAS})$$

$$X_1 = 0,50$$

$$X_2 = 0,44$$

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} \times (Y_2 - Y_1)$$

$$54,66 = 48,30 + \frac{(X - 0,50)}{(0,50 - 0,44)} \times (55,20 - 48,30)$$

$$X = 0,445$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai faktor air semen sebesar 0,445 sebagai nilai FAS *trial* ke-1 pembuatan sampel beton. Setelah dilakukan

trial, didapatkan campuran beton yang terlalu cair, sehingga perlu dilakukan penyesuaian nilai FAS dengan mengurangi kadar air untuk dapat memenuhi karakteristik dan kuat rencana (f'_c 45 MPa) beton SCC. Dari penyesuaian tersebut, didapatkan nilai FAS sebesar 0,37 yang lebih rendah dari nilai FAS perhitungan awal.

e. Menentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar bahan bersifat semen didapatkan dari persamaan 3.15 berikut.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{200,00}{0,37} = 540,547 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Semen Portland} = \frac{540,547}{3,15} = 171,602 \text{ liter/m}^3$$

f. Menentukan kebutuhan campuran per- m^3 beton SCC

$$\text{Semen Portland} = 171,60 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = 361,83 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Air} = 200 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Kadar udara} = 25 \text{ liter/m}^3$$

Hasil perhitungan di atas dijumlahkan, didapatkan nilai sebesar 758,44 liter/ m^3 . Selanjutnya, kebutuhan volume agregat halus dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Volume agregat halus} = 1000 - 758,44 = 241,56 \text{ liter/m}^3$$

$$\text{Kebutuhan volume agregat halus per-}\text{m}^3 \text{ beton} = \frac{241,56}{1000^2 \times 2,695} = 651,01 \text{ kg,}$$

dibulatkan menjadi 652 kg.

Maka, didapatkan kebutuhan campuran beton SCC menurut SNI 03-6468-2000 per- m^3 sebagai berikut.

$$\text{Semen} = 541 \text{ kg} \quad (\text{e})$$

$$\text{Kerikil} = 977 \text{ kg} \quad (\text{c})$$

$$\text{Pasir} = 652 \text{ kg} \quad (\text{f})$$

$$\text{Air} = 200 \text{ kg} \quad (\text{d})$$

Penggunaan air disesuaikan dari hasil uji coba (*trial*) campuran beton SCC, yaitu sebesar 190 liter.

5.3. Komposisi Campuran Beton SCC Mutu Tinggi

Komposisi campuran beton SCC mutu tinggi pada penelitian ini ditentukan berdasarkan perhitungan *mix design* dan *trial*, sebelum dilakukan beberapa penyesuaian komposisi campuran. Setelah dilakukan *trial* sebanyak 5 kali, didapatkan beton SCC dengan mutu 45 MPa. Terdapat 5 variasi dengan 1 beton control SCC, dengan zeolit sebagai pengganti sebagian semen, bahan tambah berupa *superplasticizer* dan *silica fume*. Campuran beton dibuat dengan kandungan zeolit 0% (beton kontrol), kemudian variasi campuran beton yang mengandung zeolit 8% (variasi 1), 9% (variasi 2), 10% (variasi 3), 11% (variasi 4). Kandungan zeolit pada campuran beton SCC didapatkan dari berat bahan bersifat semen. Berikut merupakan contoh perhitungan kandungan zeolit pada sampel benda uji Z8.

$$\begin{aligned} \text{Kadar zeolit} &= \text{kadar total semen} \times \text{zeolit}(\%) \\ &= 541 \times 8\% \\ &= 43,28 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga, kandungan semen pada komposisi campuran Z8 dikurangi oleh kadar zeolit 8% dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Semen} = 541 - 43,28 = 497,72 \text{ kg}$$

Selain itu, bahan tambah *superplasticizer* digunakan sebanyak 1% dari berat semen dan *silica fume* sebanyak 10% dari berat semen. Sehingga didapatkan komposisi campuran beton SCC mutu tinggi dengan angka penyusutan ditentukan sebesar 30% per-m³ dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10 Komposisi Campuran Beton SCC Mutu Tinggi

Kode Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Superplasticizer 1,5%	Silica Fume 10%	Zeolit	
					Berat (kg)	Berat (kg)	Berat (kg)	%
Z0	541,00	652	977	190	8,12	54,10	0	0
Z8	497,72	652	977	190	8,12	54,10	43,28	8
Z9	496,21	652	977	190	8,12	54,10	44,79	9
Z10	491,38	652	977	190	8,12	54,10	49,62	10
Z11	486,95	652	977	190	8,12	54,10	54,05	11

5.4. Pengujian Sampel Beton SCC Trial

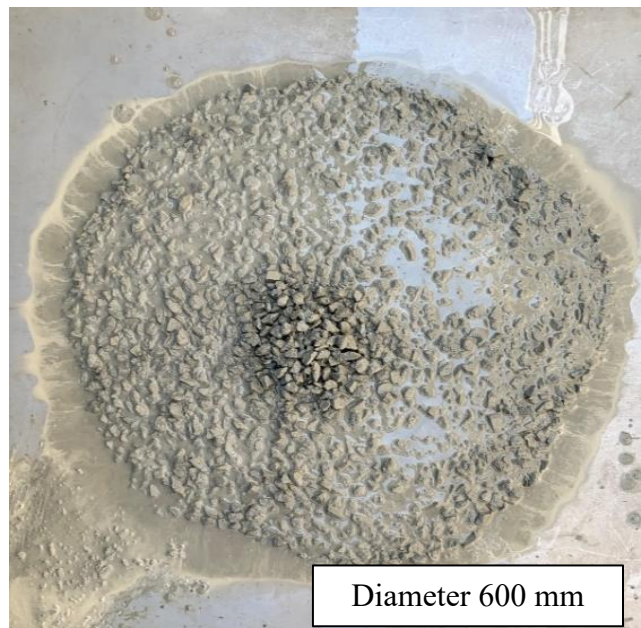
Pengujian sampel beton SCC *trial* dilakukan setelah beton telah berumur 3 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui rata-rata kuat tekan dari beton yang dibuat menggunakan komposisi campuran yang telah direncanakan sebelumnya, yaitu dengan nilai FAS sebesar 0,37. Setelah diketahui kuat tekan dari masing-masing sampel *trial* beton, nilai kuat tekan beton umur 3 hari dikonversi untuk dapat diperkirakan mutunya pada saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian sampel beton SCC *trial* 5 dapat diketahui menggunakan perhitungan dan Tabel 5.11 berikut.

$$\begin{aligned}
 P \text{ Maksimum TS1 usia 3 hari} &= 444,23 \text{ kN} &= 444230 \text{ N} \\
 \text{Luas penampang TS1 usia 3 hari} &= 0,25 \times \pi \times 150^2 = 17671,45 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat tekan TS1 umur 3 hari} &= \frac{44230}{17671,45} &= 25,14 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat tekan TS1 konversi} &= \frac{25,14}{0,55} &= 45,71 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

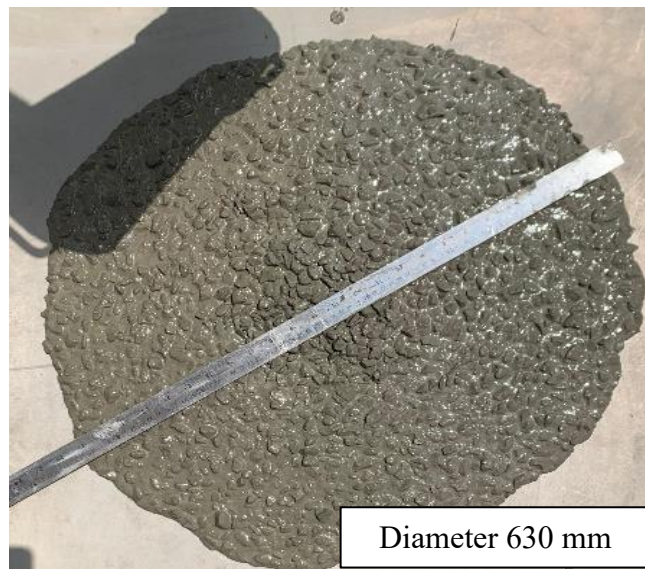
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial 5

Benda Uji	Umur beton (hari)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Angka Konversi 28 hari	Kuat Tekan Umur 28 hari (MPa)
TS1	3	17671,45	444,23	25,14	0,55	45,71
TS2	3	17671,45	426,23	24,12	0,55	43,85
TS3	3	17671,45	447,34	25,31	0,55	46,03

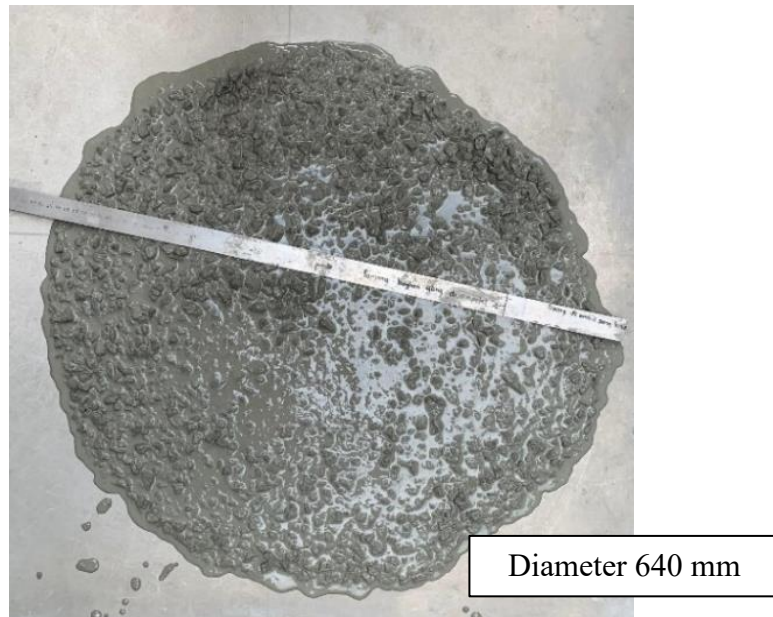
Hasil pengujian beton *trial* menggunakan angka konversi sebesar 0,55 dengan umur beton 3 hari sesuai PBI (1971). Dari tabel di atas, perkiraan kuat tekan beton pada umur 28 hari didapatkan rata-rata sebesar 45,19 MPa. Nilai kuat tekan beton SCC *trial* telah mencapai kuat tekan rencana, yaitu 45 MPa. Selain itu, pengujian *slump-flow* juga dilakukan pada beton SCC trial yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 hingga Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 3 Pengujian *Slump Trial 1*



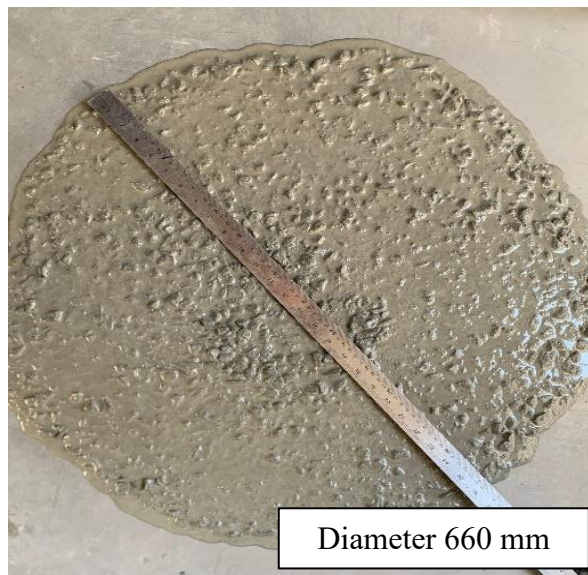
Gambar 5. 4 Pengujian *Slump Trial 2*



Gambar 5. 5 Pengujian *Slump Trial 3*



Gambar 5. 6 Pengujian *Slump Trial 4*



Gambar 5. 7 Pengujian *Slump Trial* 5

Dari Gambar 5.3 sampai Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa diameter *slump-flow trial* belum memenuhi target, yaitu dengan diameter sebesar 660 mm. Pada *slump-trial* 1 menggunakan FAS sebesar 0,445 menghasilkan beton segar yang mengalami segregasi dan *bleeding* karena kadar air dalam campuran terlalu banyak. Hasil *slump-flow trial*-1 belum memenuhi standar EFNARC 2005 pada kelas SF2, sehingga diperlukan penyesuaian nilai FAS dan kadar air dalam campuran. Penyesuaian nilai FAS dan kadar air pada penelitian ini dilakukan hingga *trial* ke-5 untuk mendapatkan target *slump-flow* sebesar 660 mm. Dengan melakukan *trial slump-flow* hingga 5 kali dengan kondisi beton segar tidak mengalami segregasi dan *bleeding* seperti pada Gambar 5.7, didapatkan nilai FAS sebesar 0,37 dan pengurangan kadar air menjadi 190 liter per-m³.

5.5. Pengujian Sampel Beton SCC Mutu Tinggi

5.5.1 *Slump-flow*

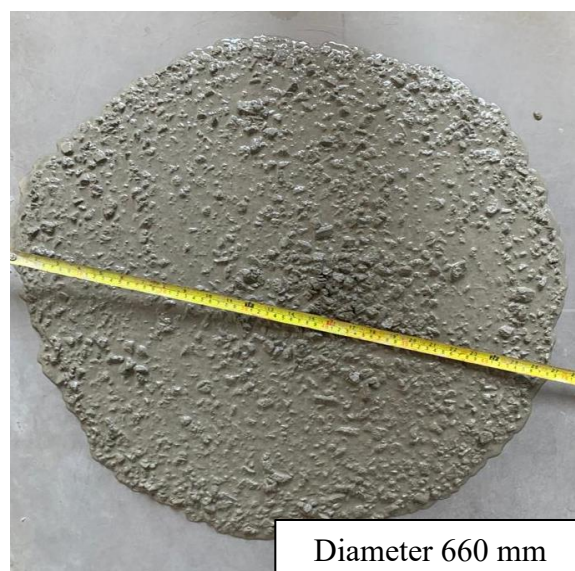
Pengujian *slump-flow* beton SCC dilakukan untuk mengetahui kemampuan aliran pada campuran beton SCC. Pengujian ini menghasilkan 2 data, yaitu data sebaran aliran pada T50 dan diameter akhir sebaran aliran. Diameter *slump-flow* beton SCC yang ditargetkan pada penelitian ini untuk mencapai standar EFNARC

2005 adalah kelas SF2, yaitu sebesar 660-750 mm. Berikut merupakan hasil pengujian *slump-flow* beton SCC yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Slump-flow* Beton SCC

No	Benda Uji	Nilai <i>Slump-flow</i> (mm)	T50 (detik)
1	Z0	660	3,98
2	Z8	660	4,24
3	Z9	655	4,33
4	Z10	650	4,51
5	Z11	640	4,92

Dari tabel di atas didapatkan nilai *slump-flow* terkecil dan terbesar berturut-turut, yaitu dengan diameter 640 mm pada benda uji Z11 dan diameter 660 mm pada benda uji Z0 dan Z8. Kemudian, nilai T50 benda uji Z0 hingga Z11 telah memenuhi syarat EFNARC 2005, yaitu 2-5 detik. Dengan nilai T50 terkecil, yaitu 3,98 detik pada benda uji Z0 dan terbesar 4,92 detik pada benda uji Z11. *Slump-flow* pada benda uji Z0 dan Z8 memenuhi klasifikasi SF2. Sedangkan, benda uji Z9, Z10 dan Z11 termasuk ke dalam klasifikasi SF1, yaitu dengan rentang *slump-flow* 550-650.



Gambar 5. 8 Pengujian *Slump-flow*

5.5.2 V-Funnel

Pengujian *v-funnel* dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam mengisi ruang (*filling ability*) dan *segregation resistance*. Pengujian ini menghasilkan waktu aliran dengan syarat EFNARC 2005, yaitu berkisar antara 3-15 detik. Hasil pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian V-funnel Beton SCC

No	Benda Uji	Nilai <i>v-funnel</i> (detik)
1	Z0	9,61
2	Z8	10,45
3	Z9	11,16
4	Z10	11,20
5	Z11	12,03



Gambar 5.9 Pengujian V-funnel

Dari hasil pengujian *v-funnel* pada Tabel 5.13, terlihat bahwa waktu aliran benda uji Z0 hingga Z11 telah memenuhi syarat. Dengan waktu alir terkecil terjadi pada benda uji Z0, sebesar 9,61 detik. Sedangkan, waktu alir terbesar terjadi pada benda uji Z11, yaitu sebesar 12,03 detik. Waktu mengalir T50 dan waktu *V-funnel* meningkat karena zeolit memiliki luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen. Hal ini mengurangi kecenderungan campuran SCC untuk mengalami segregasi melalui peningkatan viskositas (Zolghadri et al., 2022).

5.5.3 Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada sampel beton berbentuk silinder yang telah dibuat dan telah mencapai umur 28 hari. Persiapan yang dilakukan sebelum pengujian kuat tekan antara lain, pengukuran dimensi benda uji dan *capping* beton agar permukaan beton rata saat ditekan menggunakan mesin tekan CTM. Berikut merupakan proses pengujian kuat desak beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5. 10 Pengujian Kuat Desak Beton

Setelah beton diberi beban oleh mesin kemudian hancur (*crack*), maka benda uji telah mencapai batas kekuatan yang bisa ditahan. Hal ini juga ditandai dengan *dial* mesin yang mengalami penurunan sangat drastis hingga mencapai nilai nol. Selanjutnya, dilakukan pembacaan nilai kuat tekan pada dial untuk dapat dianalisis ke tahap selanjutnya. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Benda Uji	Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Tampang Benda Uji (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z0-1	0%	151,00	301,50	17907,86	749,00	41,83	45,34
Z0-2		149,80	302,40	17624,37	783,30	44,44	
Z0-3		151,00	301,50	17907,86	890,80	49,74	

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Benda Uji	Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Tampang Benda Uji (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z8-1	8%	150,85	300,10	17872,30	789,70	44,19	45,46
Z8-2		150,25	300,50	17730,41	845,90	47,71	
Z8-3		151,20	302,55	17955,33	798,90	44,49	
Z9-1	9%	151,04	304,21	17916,56	926,60	51,72	49,47
Z9-2		150,60	302,21	17813,11	787,40	44,20	
Z9-3		151,00	302,75	17907,86	940,20	52,50	
Z10-1	10%	150,40	301,70	17765,83	871,10	49,03	55,14
Z10-2		150,00	303,00	17671,46	928,30	52,53	
Z10-3		149,80	302,30	17624,37	1125,30	63,85	
Z11-1	11%	150,60	304,00	17813,11	1112,30	62,44	51,51
Z11-2		149,90	303,60	17647,90	967,60	54,83	
Z11-3		150,40	301,90	17765,83	662,10	37,27	

Berikut merupakan salah satu hasil analisis pengujian kuat tekan pada sampel beton SCC dengan kode Z0-1 pada umur 28 hari yang dihitung menggunakan persamaan 3.16 berikut.

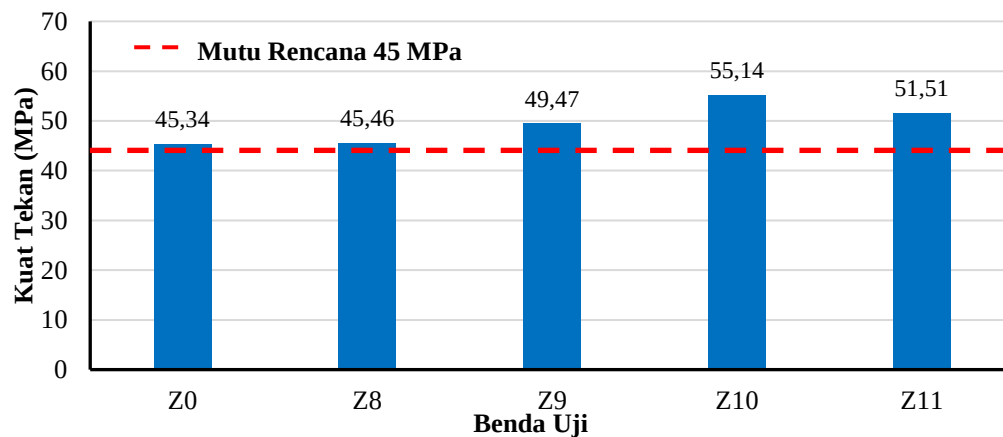
Kuat tekan beton benda uji Z0-1

$$\text{Luas} = 0,25 \times \pi \times 151,00^2 = 17907,86 \text{ mm}^2$$

$$P = 890,80 \text{ kN} = 890800 \text{ N}$$

$$f'_c = \frac{890800}{17907,86} = 49,74 \text{ MPa}$$

Hasil pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Dari Gambar 5.11 di atas dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan mengalami kenaikan seiring bertambahnya kandungan zeolit. Nilai kuat tekan optimum terjadi pada variasi zeolit 10% (Z10) sebesar 55,14 MPa, kemudian mengalami penurunan pada variasi zeolit 11% (Z11) dengan nilai kuat tekan sebesar 51,51 MPa. Sedangkan, nilai kuat tekan terendah terjadi pada beton normal dengan variasi zeolit 0% (Z0) kuat tekan rata-rata sebesar 45,34 MPa.

Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini bervariasi disebabkan beberapa faktor, seperti: proses persiapan material, penggunaan bahan tambah, pencampuran dan pembuatan benda uji. Kenaikan nilai kuat tekan terjadi karena dengan mengganti semen dengan zeolit dapat meningkatkan ikatan antara bahan campuran di dalam beton SCC, sehingga campuran beton SCC lebih stabil. Nilai kuat tekan optimum menunjukkan bahwa penggantian semen dengan zeolit semen oleh zeolit efektif pada variasi zeolit 10% (Z10). Penurunan kuat tekan dari variasi zeolit 10% terhadap variasi zeolit 11% terjadi karena zeolit memiliki sifat menyerap air sehingga mempengaruhi karakteristik beton. Pengurangan kandungan semen oleh zeolit menyebabkan produk hidrasi yang lebih rendah dan dapat berdampak buruk pada sifat mekanik beton (Zolghadri et al., 2022).

5.5.4 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji silinder yang berumur 28 hari menggunakan mesin CTM. Benda uji yang telah disiapkan diposisikan terbaring di tengah untuk diberi beban hingga beton terbelah. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Tabel 5.15

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Benda Uji	Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z0-1	0%	151,50	302,20	238,50	3,32	3,02
Z0-2		149,40	304,40	214,00	3,00	
Z0-3		150,70	301,40	197,00	2,76	
Z8-1	8%	150,90	303,20	197,00	2,74	3,13
Z8-2		150,20	303,00	158,00	2,21	

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Benda Uji	Variasi (%)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z8-3	8%	150,30	302,00	316,00	4,43	3,13
Z9-1	9%	151,25	300,20	184,50	2,59	3,31
Z9-2		150,80	300,05	281,00	3,95	
Z9-3		151,40	301,65	242,50	3,38	
Z10-1	10%	150,00	300,00	242,50	3,43	3,68
Z10-2		149,60	304,30	312,00	4,36	
Z10-3		149,70	303,00	232,00	3,26	
Z11-1	11%	150,50	302,70	292,00	4,08	3,37
Z11-2		150,50	302,50	240,00	3,36	
Z11-3		150,30	301,50	191,00	2,68	

Berikut merupakan salah satu hasil analisis pengujian kuat tarik belah pada sampel beton SCC dengan kode Z0-1 pada umur 28 yang dihitung menggunakan persamaan 3.17 berikut.

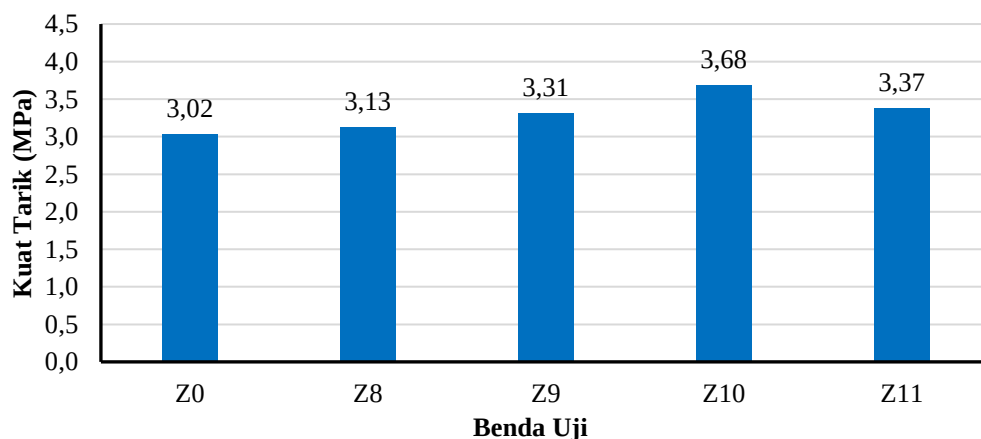
Kuat tarik belah beton benda uji Z0-1

$$\text{Luas} = \pi \times 302,20 \times 151,50 = 143832,48 \text{ mm}^2$$

$$P = 238,50 \text{ kN} = 238500 \text{ N}$$

$$\text{Kuat tarik} = \frac{2 \times 238500}{143832,48} = 3,32 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengujian dan analisis kuat tarik di atas, benda uji dengan kode Z0 memiliki kuat tarik sebesar 3,32 MPa. Berikut merupakan grafik hasil perbandingan beton kontrol dengan variasi zeolit dari pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.

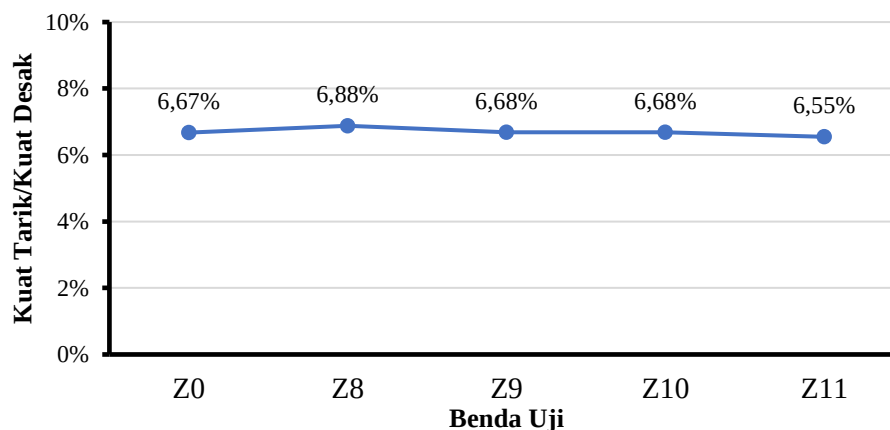


Gambar 5. 12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Dari grafik hasil pengujian kuat tarik belah di atas diperoleh nilai optimum kuat tarik belah rata-rata sebesar 3,68 MPa pada variasi zeolit 10% (Z10). Variasi tersebut merupakan variasi nilai optimum pada kuat tekan beton Z10. Sedangkan, nilai kuat tarik belah terendah terjadi pada variasi zeolit 0% (Z0). Sama halnya pada pengujian kuat tekan, nilai kuat tarik belah mengalami peningkatan seiring bertambahnya kandungan zeolit hingga variasi zeolit 10%, kemudian menurun pada variasi zeolit 11%. Pada penelitian yang dilakukan (Gowram & Beulah, 2022), juga menandakan bahwa nilai kuat tarik belah mengalami peningkatan seiring meningkatnya kuat tekan. Perbandingan nilai kuat tarik belah dan kuat desak dapat dihitung dengan membagi nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton seperti pada benda uji Z0 berikut.

$$\begin{aligned}\text{Perbandingan kuat tekan dan kuat tarik belah beton} &= \frac{\text{Kuat tekan}}{\text{Kuat tarik belah}} \times 100\% \\ &= \frac{3,02}{45,34} \times 100\% = 6,67\%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan perbandingan nilai kuat tekan dengan kuat tarik belah pada benda uji Z0 sebesar 6,67%. Setelah dilakukan perhitungan pada semua benda uji, nilai terbesar terjadi pada variasi zeolit 8% (Z8), yaitu sebesar 6,88%. Sedangkan, nilai terendah terjadi pada variasi zeolit 11% (Z11) sebesar 6,55%. Penelitian yang dilakukan oleh Nora Abdullah (2022), menunjukkan perbandingan nilai kuat tekan dengan kuat tarik belah beton berkisar antara 4-15%. Berikut merupakan hasil perbandingan nilai kuat tarik belah dan kuat desak beton dengan variasi beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 13 Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Desak

5.5.5 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan pada benda uji berbentuk silinder dengan umur 28 hari. Pengujian modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan beton pada saat dilakukan pembebanan dengan penambahan beban tiap 10 kN. Berikut merupakan hasil pengujian modulus elastisitas sampel Z0-3 yang dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Sampel Uji Z0-3

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5581
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,1163
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,6744
40	40000	26	0,0130	0,0000650	2,2326
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,7907
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,3489
70	70000	52	0,0260	0,0001300	3,9070
80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,4651
90	90000	70	0,0350	0,0001750	5,0233
100	100000	78	0,0390	0,0001950	5,5814
110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,1396
120	120000	94	0,0470	0,0002350	6,6977
130	130000	103	0,0515	0,0002575	7,2559
140	140000	111	0,0555	0,0002775	7,8140
150	150000	119	0,0595	0,0002975	8,3721
160	160000	128	0,0640	0,0003200	8,9303
170	170000	135	0,0675	0,0003375	9,4884
180	180000	144	0,0720	0,0003600	10,0466
190	190000	153	0,0765	0,0003825	10,6047
200	200000	161	0,0805	0,0004025	11,1629
210	210000	170	0,0850	0,0004250	11,7210
220	220000	179	0,0895	0,0004475	12,2791
230	230000	188	0,0940	0,0004700	12,8373
240	240000	196	0,0980	0,0004900	13,3954
250	250000	203	0,1015	0,0005075	13,9536
260	260000	211	0,1055	0,0005275	14,5117
270	270000	220	0,1100	0,0005500	15,0699
280	280000	229	0,1145	0,0005725	15,6280
290	290000	238	0,1190	0,0005950	16,1861
300	300000	245	0,1225	0,0006125	16,7443

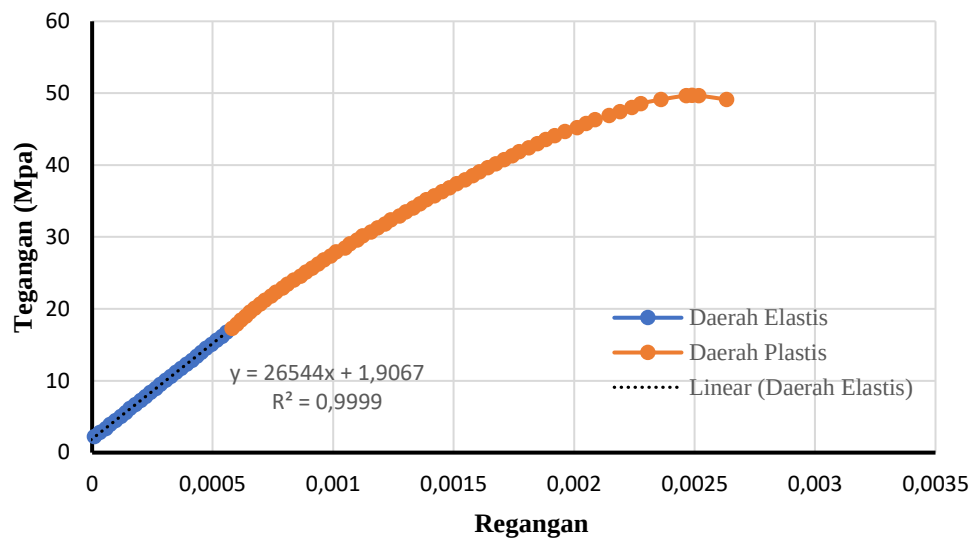
Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Sampel Uji Z0-3

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
310	310000	254	0,1270	0,0006350	17,3024
320	320000	262	0,1310	0,0006550	17,8606
330	330000	269	0,1345	0,0006725	18,4187
340	340000	277	0,1385	0,0006925	18,9769
350	350000	284	0,1420	0,0007100	19,5350
360	360000	292	0,1460	0,0007300	20,0931
370	370000	301	0,1505	0,0007525	20,6513
380	380000	309	0,1545	0,0007725	21,2094
390	390000	319	0,1595	0,0007975	21,7676
400	400000	327	0,1635	0,0008175	22,3257
410	410000	338	0,1690	0,0008450	22,8839
420	420000	346	0,1730	0,0008650	23,4420
430	430000	357	0,1785	0,0008925	24,0001
440	440000	368	0,1840	0,0009200	24,5583
450	450000	377	0,1885	0,0009425	25,1164
460	460000	387	0,1935	0,0009675	25,6746
470	470000	397	0,1985	0,0009925	26,2327
480	480000	407	0,2035	0,0010175	26,7909
490	490000	418	0,2090	0,0010450	27,3490
500	500000	427	0,2135	0,0010675	27,9071
510	510000	442	0,2210	0,0011050	28,4653
520	520000	450	0,2250	0,0011250	29,0234
530	530000	462	0,2310	0,0011550	29,5816
540	540000	471	0,2355	0,0011775	30,1397
550	550000	485	0,2425	0,0012125	30,6979
560	560000	496	0,2480	0,0012400	31,2560
570	570000	508	0,2540	0,0012700	31,8141
580	580000	518	0,2590	0,0012950	32,3723
590	590000	532	0,2660	0,0013300	32,9304
600	600000	543	0,2715	0,0013575	33,4886
610	610000	555	0,2775	0,0013875	34,0467
620	620000	566	0,2830	0,0014150	34,6049
630	630000	577	0,2885	0,0014425	35,1630
640	640000	590	0,2950	0,0014750	35,7211
650	650000	603	0,3015	0,0015075	36,2793
560	560000	496	0,2480	0,0012400	31,2560
570	570000	508	0,2540	0,0012700	31,8141
580	580000	518	0,2590	0,0012950	32,3723
590	590000	532	0,2660	0,0013300	32,9304

Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Sampel Uji Z0-3

Beban		Pembacaan dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
600	600000	543	0,2715	0,0013575	33,4886
610	610000	555	0,2775	0,0013875	34,0467
620	620000	566	0,2830	0,0014150	34,6049
630	630000	577	0,2885	0,0014425	35,1630
640	640000	590	0,2950	0,0014750	35,7211
650	650000	603	0,3015	0,0015075	36,2793
660	660000	615	0,3075	0,0015375	36,8374
670	670000	627	0,3135	0,0015675	37,3956
680	680000	641	0,3205	0,0016025	37,9537
690	690000	654	0,3270	0,0016350	38,5119
700	700000	665	0,3325	0,0016625	39,0700
710	710000	679	0,3395	0,0016975	39,6281
720	720000	692	0,3460	0,0017300	40,1863
730	730000	706	0,3530	0,0017650	40,7444
740	740000	719	0,3595	0,0017975	41,3026
750	750000	731	0,3655	0,0018275	41,8607
760	760000	747	0,3735	0,0018675	42,4189
770	770000	761	0,3805	0,0019025	42,9770
780	780000	775	0,3875	0,0019375	43,5351
790	790000	790	0,3950	0,0019750	44,0933
800	800000	807	0,4035	0,0020175	44,6514
810	810000	827	0,4135	0,0020675	45,2096
820	820000	842	0,4210	0,0021050	45,7677
830	830000	857	0,4285	0,0021425	46,3259
840	840000	880	0,4400	0,0022000	46,8840
850	850000	898	0,4490	0,0022450	47,4421
860	860000	918	0,4590	0,0022950	48,0003
870	870000	933	0,4665	0,0023325	48,5584
880	880000	966	0,4830	0,0024150	49,1166
890	890000	1008	0,5040	0,0025200	49,6747
890,8	890800	1018	0,5090	0,0025450	49,7194
890	890000	1029	0,5145	0,0025725	49,6747
880	880000	1075	0,5375	0,0026875	49,1166

Hasil pengujian modulus elastisitas benda uji dapat dilihat pada Lampiran 4. Perhitungan tegangan-regangan dibuat menjadi grafik hubungan tegangan-regangan dengan aplikasi *Microsoft Excel*. Grafik hubungan tegangan-regangan Z0 dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 14 Grafik Tegangan Regangan Sampel Z0

Berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas dari Tabel 5.16 dan Gambar 5.14, dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai koreksi regangan menggunakan bantuan aplikasi *Autocad*. Kemudian dilakukan perhitungan modulus elastisitas benda uji Z0-3 berdasarkan ASTM C-469-94 menggunakan persamaan 3.18 berikut dengan contoh perhitungannya.

$$S_1 = 20,09 \text{ MPa}$$

$$S_2 = 1,81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$\varepsilon_2 = 0,00067 \text{ (terkoreksi)}$$

$$E = \frac{20,09 - 1,81}{0,00067 - 0,00005} = 29246,68 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh nilai modulus elastisitas benda uji Z0 berdasarkan ASTM C-469-94 sebesar 29246,68 MPa. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk benda uji dengan variasi lainnya. Berikut merupakan hasil rekapitulasi dari perhitungan modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469-94 yang dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas ASTM C-469-94

Kode Sampel Uji	Ec (MPa)	Ec Rata-rata (MPa)
Z0	34227,16	29190,59
	24097,91	
	29246,68	
Z8	23856,67	23928,15
	23528,61	
	24399,17	
Z9	25284,10	25950,15
	26352,71	
	26213,64	
Z10	32769,01	29447,67
	25107,71	
	30466,30	
Z11	27054,66	26541,25
	23037,41	
	29531,68	

Setelah didapatkan hasil uji modulus elastisitas, selanjutnya dilakukan perhitungan prediksi menggunakan rumus empiris. Pada penelitian ini menggunakan Persamaan 3.19 dan 3.20 yang mengacu pada SNI-2847-2019. Kemudian, Persamaan 3.21 dan 3.22 yang mengacu pada FHWA (2000) dan NBR-6118 (2003). Contoh perhitungan prediksi modulus elastisitas pada benda uji Z0 sebagai berikut.

$$\text{Berat volume} = 2332,93 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kuat tekan maksimum} = 49,74 \text{ MPa}$$

$$E = 2332,93^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{49,74} = 33148,67 \text{ MPa}$$

$$E = 4700 \times \sqrt{49,74} = 34173,46 \text{ MPa}$$

$$E = 3837 \times \sqrt{49,74} = 27062,01 \text{ MPa}$$

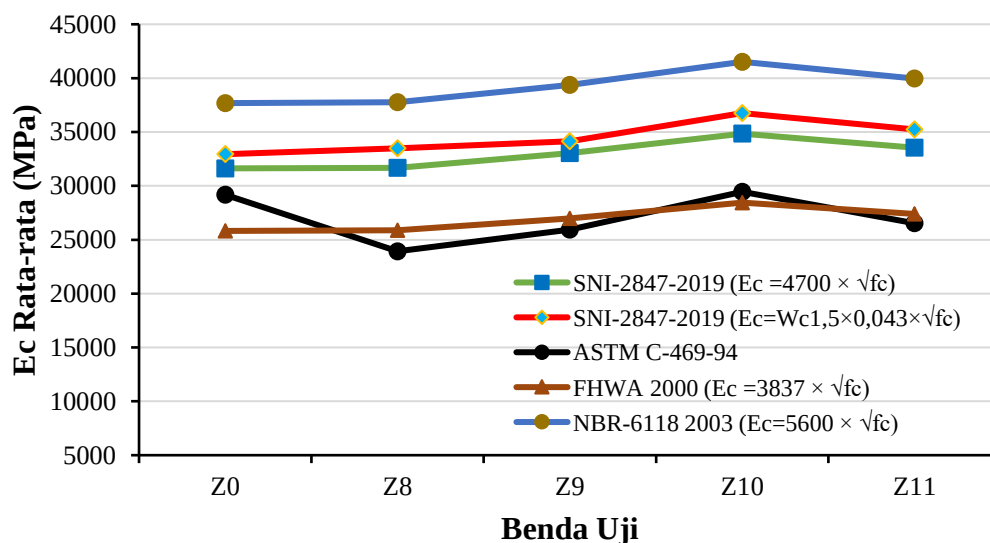
$$E = 5600 \times \sqrt{49,74} = 39496,28 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan rekap hasil perhitungan benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dengan Rumus Empiris

Benda Uji	Kuat Tekan Beton (MPa)	Berat Volume (kg/m ³)	SNI-2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$)		SNI-2847-2019 ($E_c = Wc1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$)		FHWA (2000) ($E_c = 3738 \times \sqrt{f'_c}$)		NBR-6118 ($E_c = 5600 \times \sqrt{f'_c}$)	
			Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)
Z0	41,83	2329,22	30396,03	31625,98	31261,13	32941,17	24814,80	25818,91	36216,55	37682,01
	44,44	2384,98	31333,23		33388,92		25579,92		37333,21	
	49,74	2332,93	33148,67		34173,46		27062,01		39496,28	
Z8	44,19	2373,46	31241,99	31685,46	33050,81	33489,50	25505,43	25867,47	37224,50	37752,89
	47,71	2350,23	32463,69		33840,29		26502,81		38680,15	
	44,49	2393,06	31350,71		33577,40		25594,18		37354,03	
Z9	51,72	2271,76	33800,00	33034,55	33483,53	34140,52	27593,74	26968,85	40272,34	39360,32
	43,97	2414,88	31248,25		33926,44		25510,54		37231,95	
	52,50	2328,65	34055,41		35011,59		27802,26		40576,66	
Z10	49,03	2325,39	32910,85	34843,77	33764,05	36754,89	26867,86	28445,86	39212,93	41515,98
	52,53	2342,16	34064,80		35326,62		27809,92		40587,85	
	63,85	2430,63	37555,65		41174,00		30659,79		44747,16	
Z11	62,44	2320,33	37139,74	33544,58	37978,09	35224,18	30320,26	27385,23	44251,61	39968,01
	54,83	2364,36	34801,60		36604,93		28411,43		41465,74	
	37,27	2411,67	28692,40		31089,53		23423,99		34186,69	

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas pada Tabel 5.15 di atas, menunjukkan perbedaan di antara rumus empiris. Pada perhitungan menggunakan SNI-2847-2019 dengan berdasarkan berat volume, didapatkan nilai modulus elastisitas rata-rata paling tinggi sebesar 36754,89 MPa pada variasi Z10. Sedangkan, nilai terendah terjadi pada variasi Z0, yaitu sebesar 32941,17 MPa. Pada perhitungan berdasarkan kuat tekan pada SNI-2847-2019, FHWA (2000) dan NBR-6118 (2003) nilai modulus elastisitas tertinggi juga terjadi pada benda uji variasi Z10 sebesar 41515,98 MPa. Sedangkan, nilai modulus elastisitas terendah berdasarkan kuat tekan terjadi pada beton kontrol (Z0), yaitu sebesar 25818,91 MPa. Hasil perbandingan nilai modulus elastisitas berdasarkan uji lab dan perhitungan teori dibuat menjadi grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



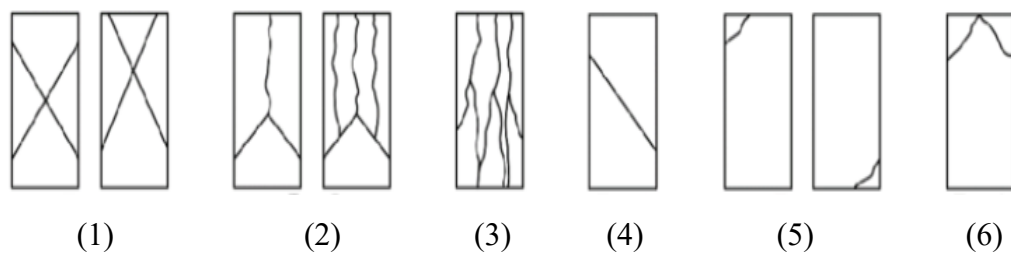
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Hasil Modulus Elastisitas

Dari grafik pada Gambar 5.15, nilai modulus elastisitas terlihat bahwa hasil dari pengujian laboratorium dengan perhitungan menggunakan metode ASTM C-469-94 menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan metode empiris SNI-03-2847-2019 dan NBR 6118 (2003). Namun, grafik perbandingan metode ASTM C-469-94, dimulai dari benda uji Z8 hingga Z11 perlahan menyerupai FHWA (2000). Terdapat perbedaan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai

modulus elastisitas seperti: kuat tekan beton dan rongga pada beton. Semakin rendah nilai kuat tekan beton dan semakin banyak rongga pada beton maka nilai modulus elastisitas beton cenderung menurun. Sebaliknya, semakin tinggi kuat tekan beton dan semakin sedikit rongga yang dimiliki pada beton maka nilai modulus elastisitas semakin tinggi, sehingga beton lebih daktil.

5.5.6 Pola Retak Beton

Retak yang dialami beton silinder setelah dilakukannya pengujian memiliki pola retak yang dibedakan menjadi 5 bagian menurut ASTM C39. Pola retak tersebut diilustrasikan pada Gambar 5.16. Pola retak hasil pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Pola Retak Beton

1. Pola retak kerucut
2. Pola retak kerucut dan pecah
3. Pola retak pecah *columnar*
4. Pola retak geser
5. Pola retak ujung silinder
6. Pola retak ujung silinder

Tabel 5. 19 Pola Retak Pada Setiap Komposisi

No	Kode Sampel	Kuat Tekan	Kuat Tarik	Pola retakan
1	Z0			Kerucut
2	Z8			Kerucut dan pecah
3	Z9			Geser
4	Z10			Kerucut
5	Z11			Geser

Berdasarkan pola retak yang terjadi setelah pengujian pada setiap komposisi, retak kerucut terjadi paling banyak terjadi pada benda uji. Hal tersebut menandakan bahwa campuran beton homogen sehingga beban terdistribusi secara merata. Sedangkan, retak geser menandakan pembebanan yang tidak merata karena campuran beton tidak terdistribusi dengan baik. Selain itu, pola retak geser menandakan bahwa pada saat pengujian, beban tidak terdistribusi secara merata pada benda uji

5.6. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dari rangkaian proses pembuatan hingga pengujian beton, diperoleh data hasil pengujian yang mencakup uji *slump-flow*, kuat desak beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Penggunaan zeolit sebagai pengganti sebagian semen dalam beton SCC menghasilkan peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas optimal pada variasi Z10 (10% zeolit), dengan nilai masing-masing 55,14 MPa, 3,68 MPa dan 29447,67 MPa pada beton umur 28 hari. Selain itu, peningkatan kadar zeolit cenderung mengurangi workability beton SCC akibat sifat menyerap airnya, meskipun perbedaannya tidak signifikan terhadap karakteristik beton segar. Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengujian yang dilakukan selama penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Tipe Benda Uji	Persentase (%)	<i>Slump-flow</i>		<i>V-funnel</i>	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas				
		T50 (detik)	Diameter (mm)				SNI-2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f_c}$)	SNI-2847-2019 ($E_c = W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f_c}$)	ASTM C-469- 94	FHWA (2000)	NBR - 6118 (2003)
Z0	0%	3,98	660	9,61	45,34	3,02	31625,98	32941,17	29190,59	25818,91	37682,01
Z8	8%	4,25	660	10,45	45,46	3,13	31685,46	33489,50	23928,15	25867,47	37752,89
Z9	9%	4,33	655	10,66	49,48	3,31	33034,55	34140,52	25950,15	26968,85	39360,32
Z10	10%	4,46	650	11,09	55,12	3,68	34843,77	36754,89	29447,67	28445,86	41515,98
Z11	11%	4,6	640	12,03	51,52	3,37	33544,58	35224,18	26541,25	27385,23	39968,01

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan zeolit sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton SCC menghasilkan kuat desak optimum pada variasi Z10 (zeolit 10%), yaitu sebesar 55,14 MPa umur 28 hari. Sedangkan nilai kuat desak paling rendah berada pada variasi Z0 (beton kontrol/variasi zeolit 0%), yaitu sebesar 45,34 MPa umur 28 hari. Pada nilai kuat tarik belah, nilai optimum berada pada variasi Z10, yaitu sebesar 3,68 MPa. Sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi Z0, yaitu sebesar 3,02 MPa. Pengujian modulus elastisitas beton SCC mutu tinggi dengan campuran zeolit menghasilkan nilai yang berbeda antara hasil uji laboratorium dengan metode ASTM C-469-94, dengan metode empiris yang berdasarkan pada kuat tekan dan berat volume, yaitu SNI 2847-2019, FHWA (2000), dan NBR-6118.
2. Seiring bertambahnya penggantian zeolit terhadap semen dapat mengurangi *workability* beton SCC karena zeolit memiliki sifat menyerap air yang tinggi. Namun, sifat beton segar dengan campuran zeolit hingga 11% menghasilkan perbedaan karakteristik beton SCC yang tidak signifikan.
3. Hasil pengujian dengan kadar zeolit 10% merupakan variasi yang optimum terhadap sifat mekanik beton SCC.
4. Pola retak kerucut paling banyak terjadi pada benda uji. Hal tersebut menandakan bahwa campuran beton homogen sehingga beban terdistribusi secara merata. Sedangkan, retak geser menandakan pembebanan yang tidak merata karena campuran beton tidak terdistribusi dengan baik. Selain itu, pola retak geser menandakan bahwa pada saat pengujian, beban tidak terdistribusi secara merata pada benda uji.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada penelitian yang akan datang, dapat melakukan pengujian *setting-time* dan penyerapan air pada beton.
2. Perlu dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada zeolit yang akan dilakukan untuk penelitian mendatang.
3. Perlu dilakukan penelitian berkaitan dengan faktor konversi untuk beton SCC mutu tinggi pada variasi campuran yang berbeda.
4. Pengaruh perbedaan *portland cement* dan zeolit perlu diteliti lebih komprehensif terhadap sifat mekanikal beton SCC mutu tinggi.
5. Perlu dicantumkan pengujian pada elemen struktur menggunakan beton SCC mutu tinggi.
6. Perlu dilakukan perawatan dan pengujian dengan umur beton lebih dari 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee E-701. (2013). ACI Education Bulletin E4-12 Chemical Admixtures for Concrete ACI Education Bulletin. *ACI Educational Bulletin*, 17. <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/fE4-12.pdf>
- Alishah, F. P. (2020). The Effect of Zeolite on Different Mechanical Properties and Permeability of Self-Compacting Concrete. *Computational Engineering and Physical Modeling*, 3(1), 53. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Al-Jabri, M., & Soegianto, R. (2014). Teknologi Zeolite untuk Pengembangan Pertanian yang Sangat Menjanjikan. *Prosiding Seminar Nasional*, 500–508.
- ASTM C 494/C 494M - 99. (2001). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete 1. *Annual Book of ASTM Standards*, 04, 1–9.
- Badan Standar Nasional. (2002). *SNI 03-2461-2002: Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural*. 1–8.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Sni 03-6468-2000 Tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang* (p. 18).
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. *SNI 03-2847-2002*. Bandung: *Badan Standardisasi Nasional*, 251.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis (ASTM C1602–06, IDT). *Dewan Jakarta., Standarisasi Nasional Indonesia.*, 8, 1–15. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 2049:2015 Semen Portland*. *Standar Nasional Indonesia*, 1–147.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Budi, A. S., Sangadji, S., & N. Insiyiroh, F. R. (2018). Pengaruh Ukuran Spesimen Terhadap Hubungan Tegangan Dan Regangan Pada Beton High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete. *Matriks Teknik Sipil*, 6(1), 56–62. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i1.36595>

- Cahyaka, H. W., Wibowo, A., Handayani, K. D., Wiyono, A., & Santoso, E. H. (2018). Pengaruh Zeolit Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton Self Compacting Concrete (SCC) Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 186–194.
- EFNARC. (2002). *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*.
- EFNARC. (2005). Efnarc The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, May, 1–68.
- Ghasemi, M., Rasekh, H., Berenjian, J., & AzariJafari, H. (2019). Dealing with workability loss challenge in SCC mixtures incorporating natural pozzolans: A study of natural zeolite and pumice. *Construction and Building Materials*, 222, 424–436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.174>
- Gowram, I., & Beulah, M. (2022). Experimental and Analytical Study of High-Strength Concrete Containing Natural Zeolite and Additives. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 8(10), 2318–2335. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-10-019>
- Indonesia, PT. S. (2013). *Sika ® ViscoCrete ® -1003*.
- Kingdom, U., & Kong, H. (2017). *Bachelor of Technology (Civil Engineering)*. August, 1–4.
- Las, T., & Zamroni, H. (2002). Application of Zeolite in Industries and Environments. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 23–30. <http://journals.itb.ac.id/index.php/jzi/article/view/1646>
- Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2022). Environmental impact of cement production and Solutions: A review. *Materials Today: Proceedings*, 48, 741–746. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.02.212>
- Nia, S. B., Chari, M. N., & Adlparvar, M. R. (2019). Experimental Study of Applying Natural Zeolite as a Partial Alternative for Cement in Self-Compacting Concrete (SCC). *Advance Researches in Civil Engineering (ARCE) ISSN: 2645-7229*, 1(3), 1–18.
- Nora Abdullah, C. R. I. H. K. M. S. (2022). Hubungan Kuat Tekan, Tarik Belah, Dan Tarik Lentur Beton Dengan Bahan Tambah Akibat Penggunaan Metode

- Perencanaan Campuran Beton Yang Berbeda. *Universitas Syiah Kuala*, 11(2), 89–94.
- Okamura, H; Ouchi, M. (2003). Self Compacting Concrete - research paper. In *Journal of Advanced Concrete Technology* (Vol. 1, Issue 1, pp. 5–15).
- PBI. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, 7, 130.
- pdf-astm-c469-94_compress.pdf*. (n.d.).
- Sasanipour, H., & Aslani, F. (2020). Durability properties evaluation of self-compacting concrete prepared with waste fine and coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 236, 117540. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.117540>
- Shekarchi, M., Ahmadi, B., Azarhomayun, F., Shafei, B., & Kioumars, M. (2023). Natural zeolite as a supplementary cementitious material – A holistic review of main properties and applications. *Construction and Building Materials*, 409(October), 133766. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133766>
- Simanjuntak, A. M., & Nursyamsi. (2019). Pengaruh Penambahan Zeolit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 8(1).
- SNI 03:2491. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.
- SNI 2493:2011. (2011). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 23. www.bsn.go.id
- SNI-1974. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Souza, S. R., Barcelos, H. J., & dos Santos, W. J. (2018). Passing Ability Testing for Self-Compacting Concrete. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 7(October).
- Sundariyati, N. P. A. N., Pranowo, D. D., Wari, W. N., Utanaka, A., & Khomari, M. G. (2024). Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Campuran Beton

- Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete) Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 29(2), 73–80. <https://doi.org/10.36728/jtsa.v29i2.3835>
- Thang, N. C., Tuan, N. Van, Yang, K. H., & Phung, Q. T. (2020). Effect of zeolite on shrinkage and crack resistance of high-performance cement-based concrete. *Materials*, 13(17), 1–17. <https://doi.org/10.3390/MA13173773>
- Tran, Y. T., Lee, J., Kumar, P., Kim, K. H., & Lee, S. S. (2019). Natural zeolite and its application in concrete composite production. *Composites Part B: Engineering*, 165, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.084>
- Wibowo, W., Al Afif, A. F., & Supardi, S. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri Dengan Variasi Bahan Tambah Metakaolin Dan Superplasticizer. *Matriks Teknik Sipil*, 6(3), 521–529. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i3.36561>
- Zolghadri, A., Ahmadi, B., & Taherkhani, H. (2022). Influence of natural zeolite on fresh properties, compressive strength, flexural strength, abrasion resistance, Cantabro-loss and microstructure of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127440>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYRERAPAN AIR
AGREGAT HALUS**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk)	479	477	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1167	1166	
Berat piknometer berisi air (B)	852	852	
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,59	2,56	2,58
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,70	2,69	2,70
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,92	2,93	2,92
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	4,38	4,82	4,60

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR/ANALISIS SARINGAN
AGREGAT HALUS**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	-	-	-	-
4,80	17	0,85	0,85	99,15
2,40	233	11,67	12,52	87,48
1,20	349	17,48	29,99	70,01
0,60	770	38,56	68,55	31,45
0,30	317	15,87	84,43	15,57
0,15	241	12,07	96,49	3,51
Sisa	70	3,51	100,00	0,00
Jumlah	1997	100		

Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Ayakan yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	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

Dengan keterangan

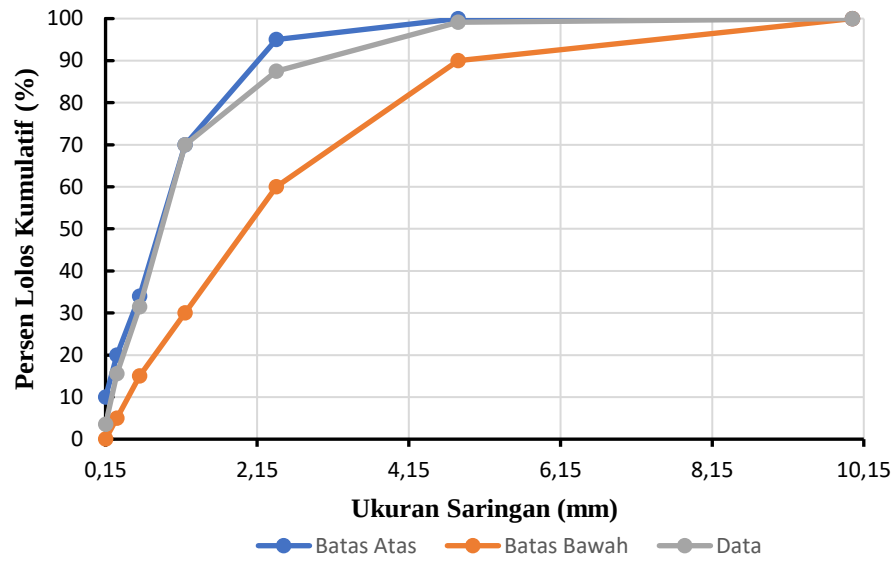
Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

Gambar Analisa Saringan Agregat Halus



**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT
AGREGAT HALUS**

Hasil Pemeriksaan Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11283	11351	11317
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19752	19247	19499,5
Berat Agregat (W3), gram	8469	7896	8182,5
Diameter Tabung (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi Tabung (t), cm	30	30	30
Volume Tabung (V), cm	5336,84	5336,84	5336,84
Berat Volume Gembur, gram	1,587	1,480	1,533

Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11351	11283	11317
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	20427	20280	20353,50
Berat Agregat (W3), gram	9076	8997	9036,50
Diameter Tabung (d), cm	15,05	15,03	15,04
Tinggi Tabung (t), cm	30	30	30
Volume Tabung (V), cm	5336,84	5322,66	5329,75
Berat Volume Gembur, gram	1,701	1,690	1,695

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

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	498	495	
Berat yang Lolos Ayakan No. 200,%	0,40	1,00	0,7

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYRERAPAN AIR
AGREGAT KASAR**

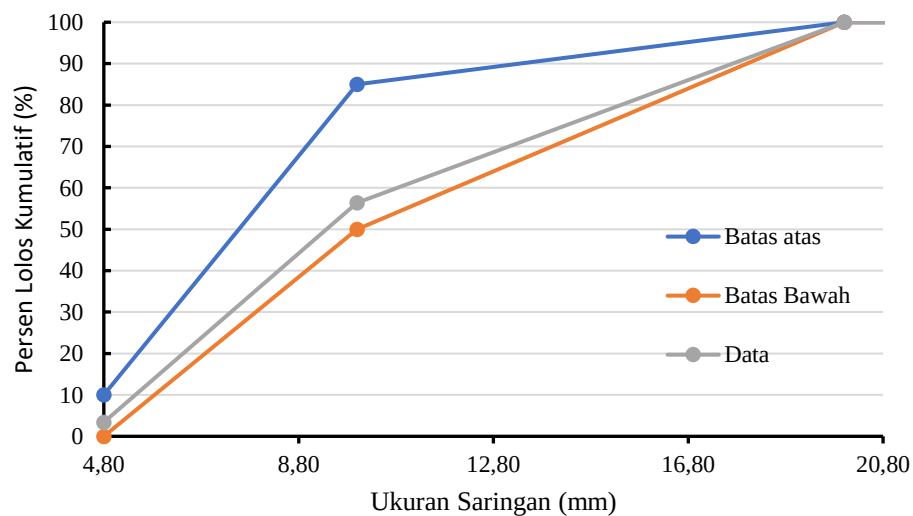
Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4923	4905	
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	
Berat piknometer berisi kerikil dan air (Ba)	3158	3136	
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,67	2,63	2,65
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,71	2,68	2,70
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,79	2,77	2,78
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,56	1,94	1,75

PEMERIKSAAN ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	-	-	-	-
20,00	-	-	-	-
10,00	2180	43,62	44	56,38
4,80	2648	52,98	96,60	3,40
2,40	155	3,10	99,70	0,30
1,20	2	0,04	99,74	0,26
0,60	-	-	99,74	0,26
0,30	-	-	99,74	0,26
0,15	-	-	99,74	0,26
Sisa	13	0,26	100,00	-
Jumlah	4998	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 Analisis Saringan Ukuran Maksimum Agregat 10 mm

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT AGREGAT
KASAR**

Hasil Pemeriksaan Berat Volume Gembur

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11083	11083	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18217	18177	
Berat Agregat (W3)	7134	7094	
Diameter Tabung (d)	15,02	15,02	
Tinggi Tabung (t)	30,24	30,24	
Volume Tabung (V)	5358	5358	
Berat Volume Gembur	1,331	1,324	1,328

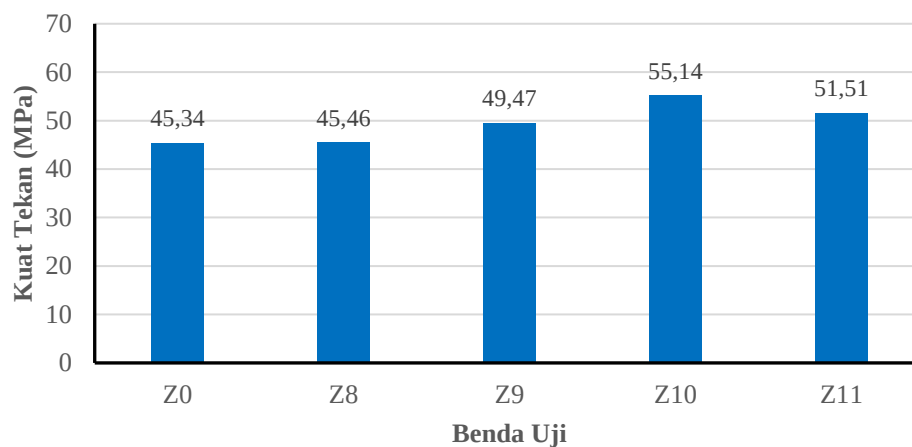
Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11083	11083	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19045	19228	
Berat Agregat (W3)	7962	8145	
Diameter Tabung (d)	15,02	15,02	
Tinggi Tabung (t)	30,24	30,24	
Volume Tabung (V)	5358,11	5358,11	
Berat Volume Gembur	1,486	1,520	1,503

Lampiran 2 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Variasi (%)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z0	151,00	301,50	17907,86	0%	749,00	41,83	45,34
	149,80	302,40	17624,37		783,30	44,44	
	151,00	301,50	17907,86		890,80	49,74	
Z8	150,85	300,10	17872,30	8%	789,70	44,19	45,46
	150,25	300,50	17730,41		845,90	47,71	
	151,20	302,55	17955,33		798,90	44,49	
Z9	151,04	304,21	17916,56	9%	926,60	51,72	49,47
	150,60	302,21	17813,11		787,40	44,20	
	151,00	302,75	17907,86		940,20	52,50	
Z10	150,40	301,70	17765,83	10%	871,10	49,03	55,14
	150,00	303,00	17671,46		928,30	52,53	
	149,80	302,30	17624,37		1125,30	63,85	
Z11	150,60	304,00	17813,11	11%	1112,30	62,44	51,51
	149,90	303,60	17647,90		967,60	54,83	
	150,40	301,90	17765,83		662,10	37,27	

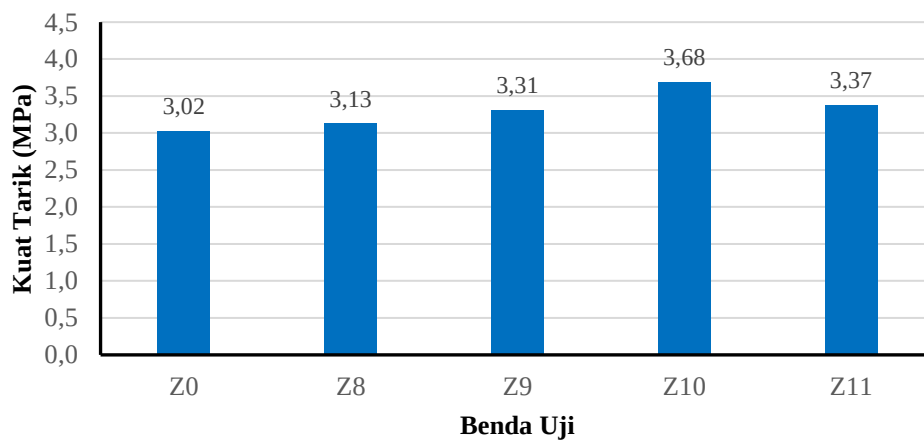
Grafik Hasil Pengujian Kuat Desak Beton



Lampiran 3 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Variasi (%)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-rata (MPa)
Z0	151,5	302,2	143832,48	0%	238,50	3,32	3,02
	149,4	304,4	142871,34		214,00	3,00	
	150,70	301,40	142694,22		197,00	2,76	
Z8	150,90	303,20	143736,91	8%	197,00	2,74	3,13
	150,20	303,00	142975,77		158,00	2,21	
	150,30	302,00	142598,78		316,00	4,43	
Z9	151,25	300,20	142644,80	9%	184,50	2,59	3,31
	150,80	300,05	142149,34		281,00	3,95	
	151,40	301,65	143475,94		242,50	3,38	
Z10	150,00	300,00	141371,67	10%	242,50	3,43	3,68
	149,60	304,30	143015,60		312,00	4,36	
	149,70	303,00	142499,82		232,00	3,26	
Z11	150,50	302,7	143119,49	11%	292,00	4,08	3,37
	150,5	302,5	143024,93		240,00	3,36	
	150,3	301,5	142362,68		191,00	2,68	

Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik



Lampiran 4 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z0 Sampel 1

I. Data Benda

Umur Uji	28	Hari
Diameter	151,00	mm
Tinggi	301,50	mm
Luas	17907,86	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2329,22	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	41,83	MPa

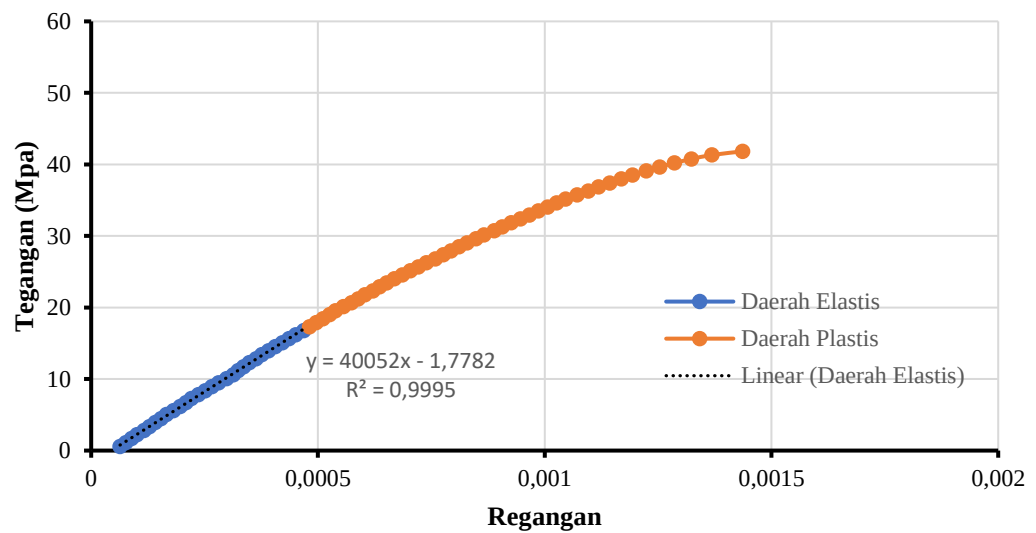
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,5584
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,1168
30	30000	13	0,0065	0,0000325	1,6752
40	40000	18	0,0090	0,0000450	2,2337
50	50000	24	0,0120	0,0000600	2,7921
60	60000	29	0,0145	0,0000725	3,3505
70	70000	34	0,0170	0,0000850	3,9089
80	80000	39	0,0195	0,0000975	4,4673
90	90000	44	0,0220	0,0001100	5,0257
100	100000	50	0,0250	0,0001250	5,5841
110	110000	56	0,0280	0,0001400	6,1426
120	120000	61	0,0305	0,0001525	6,7010
130	130000	66	0,0330	0,0001650	7,2594
140	140000	72	0,0360	0,0001800	7,8178
150	150000	78	0,0390	0,0001950	8,3762
160	160000	84	0,0420	0,0002100	8,9346
170	170000	90	0,0450	0,0002250	9,4930
180	180000	97	0,0485	0,0002425	10,0515
190	190000	103	0,0515	0,0002575	10,6099
200	200000	107	0,0535	0,0002675	11,1683
210	210000	112	0,0560	0,0002800	11,7267
220	220000	117	0,0585	0,0002925	12,2851
230	230000	123	0,0615	0,0003075	12,8435
240	240000	128	0,0640	0,0003200	13,4019
250	250000	134	0,0670	0,0003350	13,9603

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
260	260000	140	0,0700	0,0003500	14,5188
270	270000	146	0,0730	0,0003650	15,0772
280	280000	152	0,0760	0,0003800	15,6356
290	290000	158	0,0790	0,0003950	16,1940
300	300000	165	0,0825	0,0004125	16,7524
310	310000	170	0,0850	0,0004250	17,3108
320	320000	176	0,0880	0,0004400	17,8692
330	330000	182	0,0910	0,0004550	18,4277
340	340000	188	0,0940	0,0004700	18,9861
350	350000	193	0,0965	0,0004825	19,5445
360	360000	200	0,1000	0,0005000	20,1029
370	370000	207	0,1035	0,0005175	20,6613
380	380000	213	0,1065	0,0005325	21,2197
390	390000	219	0,1095	0,0005475	21,7781
400	400000	226	0,1130	0,0005650	22,3366
410	410000	232	0,1160	0,0005800	22,8950
420	420000	238	0,1190	0,0005950	23,4534
430	430000	245	0,1225	0,0006125	24,0118
440	440000	252	0,1260	0,0006300	24,5702
450	450000	259	0,1295	0,0006475	25,1286
460	460000	266	0,1330	0,0006650	25,6870
470	470000	273	0,1365	0,0006825	26,2455
480	480000	281	0,1405	0,0007025	26,8039
490	490000	288	0,1440	0,0007200	27,3623
500	500000	295	0,1475	0,0007375	27,9207
510	510000	302	0,1510	0,0007550	28,4791
520	520000	309	0,1545	0,0007725	29,0375
530	530000	317	0,1585	0,0007925	29,5959
540	540000	324	0,1620	0,0008100	30,1544
550	550000	333	0,1665	0,0008325	30,7128
560	560000	340	0,1700	0,0008500	31,2712
570	570000	348	0,1740	0,0008700	31,8296
580	580000	356	0,1780	0,0008900	32,3880
590	590000	364	0,1820	0,0009100	32,9464
600	600000	372	0,1860	0,0009300	33,5048
610	610000	380	0,1900	0,0009500	34,0632
620	620000	388	0,1940	0,0009700	34,6217
630	630000	396	0,1980	0,0009900	35,1801
640	640000	406	0,2030	0,0010150	35,7385
650	650000	416	0,2080	0,0010400	36,2969
660	660000	425	0,2125	0,0010625	36,8553

Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	435	0,2175	0,0010875	37,4137
680	680000	445	0,2225	0,0011125	37,9721
690	690000	455	0,2275	0,0011375	38,5306
700	700000	467	0,2335	0,0011675	39,0890
710	710000	479	0,2395	0,0011975	39,6474
720	720000	492	0,2460	0,0012300	40,2058
730	730000	507	0,2535	0,0012675	40,7642
740	740000	525	0,2625	0,0013125	41,3226
749	749000	552	0,2760	0,0013800	41,8252

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z0 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z0 Sampel 2

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	149,80	mm
Tinggi	302,40	mm
Luas	17624,37	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2384,98	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	44,44	MPa

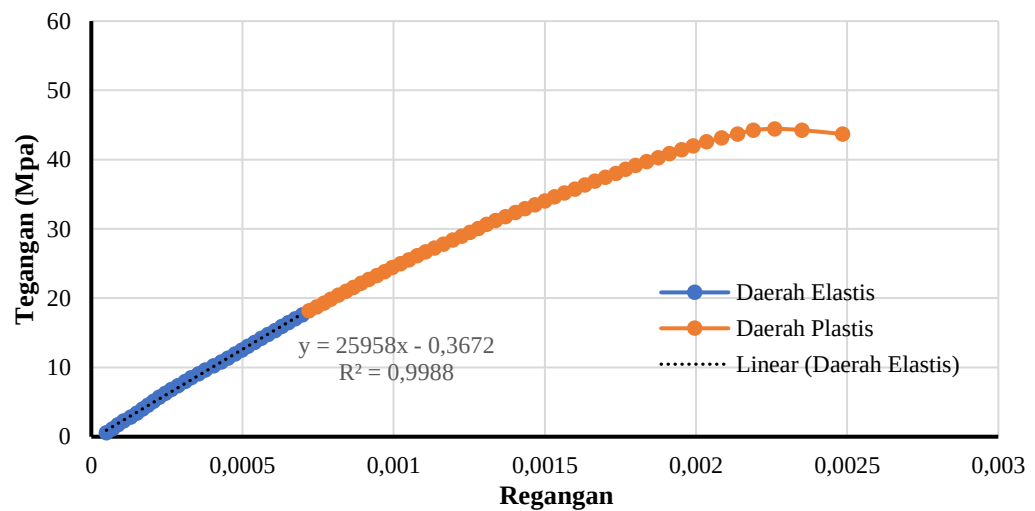
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	0	0,0000	0,0000000	0,5674
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,1348
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,7022
40	40000	23	0,0115	0,0000575	2,2696
50	50000	32	0,0160	0,0000800	2,8370
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,4044
70	70000	48	0,0240	0,0001200	3,9718
80	80000	55	0,0275	0,0001375	4,5392
90	90000	62	0,0310	0,0001550	5,1066
100	100000	70	0,0350	0,0001750	5,6740
110	110000	78	0,0390	0,0001950	6,2414
120	120000	86	0,0430	0,0002150	6,8088
130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,3762
140	140000	104	0,0520	0,0002600	7,9435
150	150000	112	0,0560	0,0002800	8,5109
160	160000	122	0,0610	0,0003050	9,0783
170	170000	131	0,0655	0,0003275	9,6457
180	180000	142	0,0710	0,0003550	10,2131
190	190000	152	0,0760	0,0003800	10,7805
200	200000	161	0,0805	0,0004025	11,3479
210	210000	170	0,0850	0,0004250	11,9153
220	220000	179	0,0895	0,0004475	12,4827
230	230000	187	0,0935	0,0004675	13,0501
240	240000	196	0,0980	0,0004900	13,6175
250	250000	205	0,1025	0,0005125	14,1849
260	260000	214	0,1070	0,0005350	14,7523

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	223	0,1115	0,0005575	15,3197
280	280000	232	0,1160	0,0005800	15,8871
290	290000	241	0,1205	0,0006025	16,4545
300	300000	250	0,1250	0,0006250	17,0219
310	310000	259	0,1295	0,0006475	17,5893
320	320000	268	0,1340	0,0006700	18,1567
330	330000	278	0,1390	0,0006950	18,7241
340	340000	288	0,1440	0,0007200	19,2915
350	350000	297	0,1485	0,0007425	19,8589
360	360000	307	0,1535	0,0007675	20,4263
370	370000	317	0,1585	0,0007925	20,9937
380	380000	327	0,1635	0,0008175	21,5611
390	390000	337	0,1685	0,0008425	22,1285
400	400000	347	0,1735	0,0008675	22,6959
410	410000	358	0,1790	0,0008950	23,2632
420	420000	368	0,1840	0,0009200	23,8306
430	430000	378	0,1890	0,0009450	24,3980
440	440000	389	0,1945	0,0009725	24,9654
450	450000	400	0,2000	0,0010000	25,5328
460	460000	411	0,2055	0,0010275	26,1002
470	470000	422	0,2110	0,0010550	26,6676
480	480000	434	0,2170	0,0010850	27,2350
490	490000	446	0,2230	0,0011150	27,8024
500	500000	458	0,2290	0,0011450	28,3698
510	510000	470	0,2350	0,0011750	28,9372
520	520000	481	0,2405	0,0012025	29,5046
530	530000	492	0,2460	0,0012300	30,0720
540	540000	503	0,2515	0,0012575	30,6394
550	550000	515	0,2575	0,0012875	31,2068
560	560000	528	0,2640	0,0013200	31,7742
570	570000	541	0,2705	0,0013525	32,3416
580	580000	554	0,2770	0,0013850	32,9090
590	590000	567	0,2835	0,0014175	33,4764
600	600000	580	0,2900	0,0014500	34,0438
610	610000	593	0,2965	0,0014825	34,6112
620	620000	606	0,3030	0,0015150	35,1786
630	630000	620	0,3100	0,0015500	35,7460
640	640000	633	0,3165	0,0015825	36,3134
650	650000	646	0,3230	0,0016150	36,8808
660	660000	660	0,3300	0,0016500	37,4482

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	674	0,3370	0,0016850	38,0156
680	680000	687	0,3435	0,0017175	38,5829
690	690000	700	0,3500	0,0017500	39,1503
700	700000	715	0,3575	0,0017875	39,7177
710	710000	730	0,3650	0,0018250	40,2851
720	720000	745	0,3725	0,0018625	40,8525
730	730000	761	0,3805	0,0019025	41,4199
740	740000	776	0,3880	0,0019400	41,9873
750	750000	794	0,3970	0,0019850	42,5547
760	760000	814	0,4070	0,0020350	43,1221
770	770000	835	0,4175	0,0020875	43,6895
780	780000	856	0,4280	0,0021400	44,2569
783,3	783300	884	0,4420	0,0022100	44,4442
780	780000	920	0,4600	0,0023000	44,2569
770	770000	974	0,4870	0,0024350	43,6895

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z0 Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z0 Sampel 3

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	151,04	mm
Tinggi	304,21	mm
Luas	17916,56	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2332,93	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	49,74	MPa

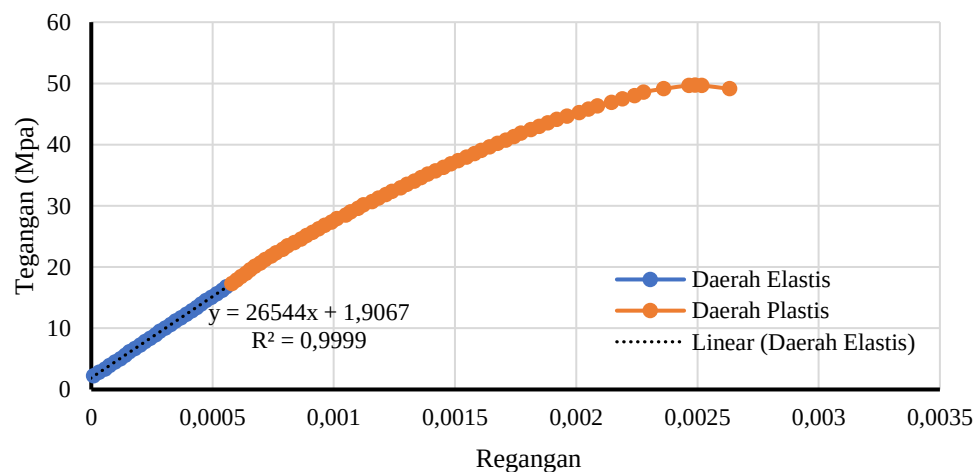
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5581
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,1163
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,6744
40	40000	26	0,0130	0,0000650	2,2326
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,7907
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,3489
70	70000	52	0,0260	0,0001300	3,9070
80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,4651
90	90000	70	0,0350	0,0001750	5,0233
100	100000	78	0,0390	0,0001950	5,5814
110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,1396
120	120000	94	0,0470	0,0002350	6,6977
130	130000	103	0,0515	0,0002575	7,2559
140	140000	111	0,0555	0,0002775	7,8140
150	150000	119	0,0595	0,0002975	8,3721
160	160000	128	0,0640	0,0003200	8,9303
170	170000	135	0,0675	0,0003375	9,4884
180	180000	144	0,0720	0,0003600	10,0466
190	190000	153	0,0765	0,0003825	10,6047
200	200000	161	0,0805	0,0004025	11,1629
210	210000	170	0,0850	0,0004250	11,7210
220	220000	179	0,0895	0,0004475	12,2791
230	230000	188	0,0940	0,0004700	12,8373
240	240000	196	0,0980	0,0004900	13,3954
250	250000	203	0,1015	0,0005075	13,9536
260	260000	211	0,1055	0,0005275	14,5117

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	220	0,1100	0,0005500	15,0699
280	280000	229	0,1145	0,0005725	15,6280
290	290000	238	0,1190	0,0005950	16,1861
300	300000	245	0,1225	0,0006125	16,7443
310	310000	254	0,1270	0,0006350	17,3024
320	320000	262	0,1310	0,0006550	17,8606
330	330000	269	0,1345	0,0006725	18,4187
340	340000	277	0,1385	0,0006925	18,9769
350	350000	284	0,1420	0,0007100	19,5350
360	360000	292	0,1460	0,0007300	20,0931
370	370000	301	0,1505	0,0007525	20,6513
380	380000	309	0,1545	0,0007725	21,2094
390	390000	319	0,1595	0,0007975	21,7676
400	400000	327	0,1635	0,0008175	22,3257
410	410000	338	0,1690	0,0008450	22,8839
420	420000	346	0,1730	0,0008650	23,4420
430	430000	357	0,1785	0,0008925	24,0001
440	440000	368	0,1840	0,0009200	24,5583
450	450000	377	0,1885	0,0009425	25,1164
460	460000	387	0,1935	0,0009675	25,6746
470	470000	397	0,1985	0,0009925	26,2327
480	480000	407	0,2035	0,0010175	26,7909
490	490000	418	0,2090	0,0010450	27,3490
500	500000	427	0,2135	0,0010675	27,9071
510	510000	442	0,2210	0,0011050	28,4653
520	520000	450	0,2250	0,0011250	29,0234
530	530000	462	0,2310	0,0011550	29,5816
540	540000	471	0,2355	0,0011775	30,1397
550	550000	485	0,2425	0,0012125	30,6979
560	560000	496	0,2480	0,0012400	31,2560
570	570000	508	0,2540	0,0012700	31,8141
580	580000	518	0,2590	0,0012950	32,3723
590	590000	532	0,2660	0,0013300	32,9304
600	600000	543	0,2715	0,0013575	33,4886
610	610000	555	0,2775	0,0013875	34,0467
620	620000	566	0,2830	0,0014150	34,6049
630	630000	577	0,2885	0,0014425	35,1630
640	640000	590	0,2950	0,0014750	35,7211
650	650000	603	0,3015	0,0015075	36,2793
660	660000	615	0,3075	0,0015375	36,8374

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	627	0,3135	0,0015675	37,3956
680	680000	641	0,3205	0,0016025	37,9537
690	690000	654	0,3270	0,0016350	38,5119
700	700000	665	0,3325	0,0016625	39,0700
710	710000	679	0,3395	0,0016975	39,6281
720	720000	692	0,3460	0,0017300	40,1863
730	730000	706	0,3530	0,0017650	40,7444
740	740000	719	0,3595	0,0017975	41,3026
750	750000	731	0,3655	0,0018275	41,8607
760	760000	747	0,3735	0,0018675	42,4189
770	770000	761	0,3805	0,0019025	42,9770
780	780000	775	0,3875	0,0019375	43,5351
790	790000	790	0,3950	0,0019750	44,0933
800	800000	807	0,4035	0,0020175	44,6514
810	810000	827	0,4135	0,0020675	45,2096
820	820000	842	0,4210	0,0021050	45,7677
830	830000	857	0,4285	0,0021425	46,3259
840	840000	880	0,4400	0,0022000	46,8840
850	850000	898	0,4490	0,0022450	47,4421
860	860000	918	0,4590	0,0022950	48,0003
870	870000	933	0,4665	0,0023325	48,5584
880	880000	966	0,4830	0,0024150	49,1166
890	890000	1008	0,5040	0,0025200	49,6747
890,8	890800	1018	0,5090	0,0025450	49,7194
890	890000	1029	0,5145	0,0025725	49,6747
880	880000	1075	0,5375	0,0026875	49,1166

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z0 Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z8 Sampel 1

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,85	mm
Tinggi	300,10	mm
Luas	17872,30	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2373,46	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	44,19	MPa

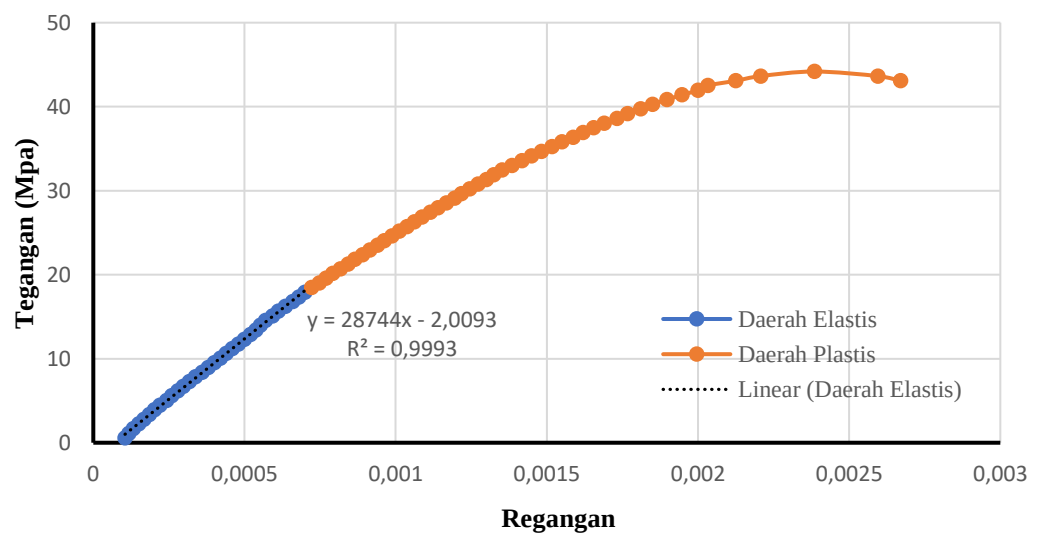
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	0	0,0000	0,0000000	0,5595
20	20000	5	0,0025	0,0000125	1,1190
30	30000	11	0,0055	0,0000275	1,6786
40	40000	18	0,0090	0,0000450	2,2381
50	50000	25	0,0125	0,0000625	2,7976
60	60000	32	0,0160	0,0000800	3,3571
70	70000	39	0,0195	0,0000975	3,9167
80	80000	46	0,0230	0,0001150	4,4762
90	90000	55	0,0275	0,0001375	5,0357
100	100000	62	0,0310	0,0001550	5,5952
110	110000	70	0,0350	0,0001750	6,1548
120	120000	77	0,0385	0,0001925	6,7143
130	130000	85	0,0425	0,0002125	7,2738
140	140000	93	0,0465	0,0002325	7,8333
150	150000	102	0,0510	0,0002550	8,3929
160	160000	110	0,0550	0,0002750	8,9524
170	170000	118	0,0590	0,0002950	9,5119
180	180000	126	0,0630	0,0003150	10,0714
190	190000	134	0,0670	0,0003350	10,6310
200	200000	142	0,0710	0,0003550	11,1905
210	210000	150	0,0750	0,0003750	11,7500
220	220000	158	0,0790	0,0003950	12,3095
230	230000	166	0,0830	0,0004150	12,8691
240	240000	173	0,0865	0,0004325	13,4286
250	250000	179	0,0895	0,0004475	13,9881
260	260000	186	0,0930	0,0004650	14,5476

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	195	0,0975	0,0004875	15,1072
280	280000	203	0,1015	0,0005075	15,6667
290	290000	212	0,1060	0,0005300	16,2262
300	300000	222	0,1110	0,0005550	16,7857
310	310000	230	0,1150	0,0005750	17,3453
320	320000	238	0,1190	0,0005950	17,9048
330	330000	247	0,1235	0,0006175	18,4643
340	340000	257	0,1285	0,0006425	19,0238
350	350000	266	0,1330	0,0006650	19,5834
360	360000	275	0,1375	0,0006875	20,1429
370	370000	285	0,1425	0,0007125	20,7024
380	380000	295	0,1475	0,0007375	21,2619
390	390000	304	0,1520	0,0007600	21,8215
400	400000	314	0,1570	0,0007850	22,3810
410	410000	324	0,1620	0,0008100	22,9405
420	420000	334	0,1670	0,0008350	23,5000
430	430000	343	0,1715	0,0008575	24,0596
440	440000	353	0,1765	0,0008825	24,6191
450	450000	363	0,1815	0,0009075	25,1786
460	460000	373	0,1865	0,0009325	25,7381
470	470000	383	0,1915	0,0009575	26,2977
480	480000	393	0,1965	0,0009825	26,8572
490	490000	404	0,2020	0,0010100	27,4167
500	500000	414	0,2070	0,0010350	27,9762
510	510000	425	0,2125	0,0010625	28,5358
520	520000	436	0,2180	0,0010900	29,0953
530	530000	445	0,2225	0,0011125	29,6548
540	540000	456	0,2280	0,0011400	30,2143
550	550000	467	0,2335	0,0011675	30,7739
560	560000	478	0,2390	0,0011950	31,3334
570	570000	488	0,2440	0,0012200	31,8929
580	580000	499	0,2495	0,0012475	32,4524
590	590000	512	0,2560	0,0012800	33,0120
600	600000	525	0,2625	0,0013125	33,5715
610	610000	538	0,2690	0,0013450	34,1310
620	620000	551	0,2755	0,0013775	34,6905
630	630000	565	0,2825	0,0014125	35,2501
640	640000	578	0,2890	0,0014450	35,8096
650	650000	593	0,2965	0,0014825	36,3691
660	660000	606	0,3030	0,0015150	36,9286

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	620	0,3100	0,0015500	37,4882
680	680000	634	0,3170	0,0015850	38,0477
690	690000	651	0,3255	0,0016275	38,6072
700	700000	665	0,3325	0,0016625	39,1667
710	710000	682	0,3410	0,0017050	39,7263
720	720000	698	0,3490	0,0017450	40,2858
730	730000	717	0,3585	0,0017925	40,8453
740	740000	737	0,3685	0,0018425	41,4048
750	750000	758	0,3790	0,0018950	41,9644
760	760000	771	0,3855	0,0019275	42,5239
770	770000	808	0,4040	0,0020200	43,0834
780	780000	841	0,4205	0,0021025	43,6429
789,7	789700	912	0,4560	0,0022800	44,1857
780	780000	996	0,4980	0,0024900	43,6429
770	770000	1026	0,5130	0,0025650	43,0834

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z8 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z8 Sampel 2

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,25	mm
Tinggi	300,50	mm
Luas	17730,41	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2350,23	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	47,71	MPa

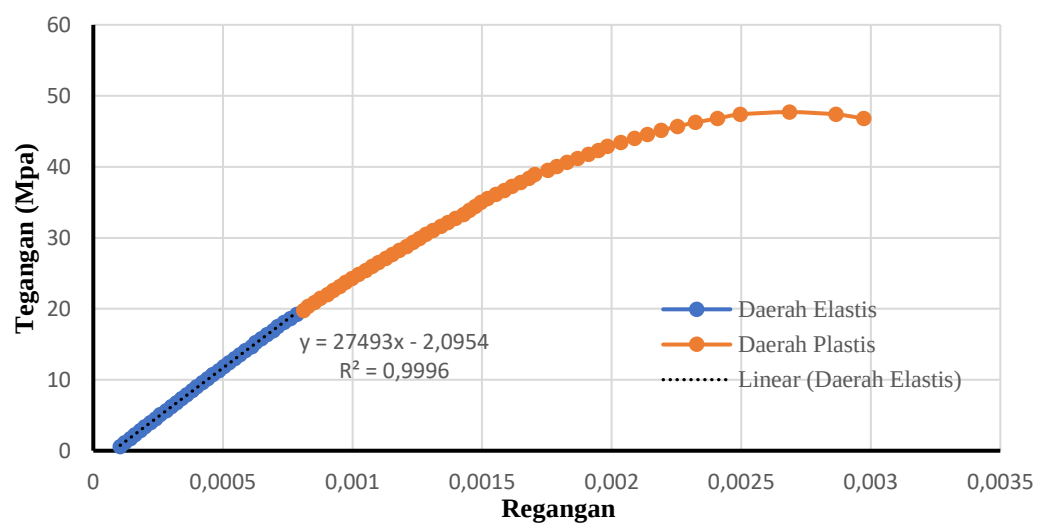
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5640
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,1280
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,6920
40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,2560
50	50000	33	0,0165	0,0000825	2,8200
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,3840
70	70000	49	0,0245	0,0001225	3,9480
80	80000	57	0,0285	0,0001425	4,5120
90	90000	64	0,0320	0,0001600	5,0760
100	100000	73	0,0365	0,0001825	5,6400
110	110000	81	0,0405	0,0002025	6,2040
120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,7680
130	130000	97	0,0485	0,0002425	7,3320
140	140000	105	0,0525	0,0002625	7,8960
150	150000	113	0,0565	0,0002825	8,4600
160	160000	120	0,0600	0,0003000	9,0240
170	170000	129	0,0645	0,0003225	9,5880
180	180000	137	0,0685	0,0003425	10,1520
190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,7161
200	200000	154	0,0770	0,0003850	11,2801
210	210000	162	0,0810	0,0004050	11,8441
220	220000	170	0,0850	0,0004250	12,4081
230	230000	179	0,0895	0,0004475	12,9721
240	240000	187	0,0935	0,0004675	13,5361
250	250000	195	0,0975	0,0004875	14,1001
260	260000	205	0,1025	0,0005125	14,6641

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	211	0,1055	0,0005275	15,2281
280	280000	220	0,1100	0,0005500	15,7921
290	290000	229	0,1145	0,0005725	16,3561
300	300000	238	0,1190	0,0005950	16,9201
310	310000	245	0,1225	0,0006125	17,4841
320	320000	255	0,1275	0,0006375	18,0481
330	330000	265	0,1325	0,0006625	18,6121
340	340000	275	0,1375	0,0006875	19,1761
350	350000	285	0,1425	0,0007125	19,7401
360	360000	292	0,1460	0,0007300	20,3041
370	370000	302	0,1510	0,0007550	20,8681
380	380000	311	0,1555	0,0007775	21,4321
390	390000	322	0,1610	0,0008050	21,9961
400	400000	331	0,1655	0,0008275	22,5601
410	410000	341	0,1705	0,0008525	23,1241
420	420000	350	0,1750	0,0008750	23,6881
430	430000	360	0,1800	0,0009000	24,2521
440	440000	370	0,1850	0,0009250	24,8161
450	450000	381	0,1905	0,0009525	25,3801
460	460000	391	0,1955	0,0009775	25,9441
470	470000	401	0,2005	0,0010025	26,5081
480	480000	412	0,2060	0,0010300	27,0721
490	490000	422	0,2110	0,0010550	27,6361
500	500000	433	0,2165	0,0010825	28,2001
510	510000	444	0,2220	0,0011100	28,7641
520	520000	454	0,2270	0,0011350	29,3281
530	530000	464	0,2320	0,0011600	29,8921
540	540000	474	0,2370	0,0011850	30,4561
550	550000	485	0,2425	0,0012125	31,0201
560	560000	497	0,2485	0,0012425	31,5841
570	570000	508	0,2540	0,0012700	32,1482
580	580000	520	0,2600	0,0013000	32,7122
590	590000	532	0,2660	0,0013300	33,2762
600	600000	541	0,2705	0,0013525	33,8402
610	610000	550	0,2750	0,0013750	34,4042
620	620000	559	0,2795	0,0013975	34,9682
630	630000	569	0,2845	0,0014225	35,5322
640	640000	582	0,2910	0,0014550	36,0962
650	650000	595	0,2975	0,0014875	36,6602
660	660000	607	0,3035	0,0015175	37,2242

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	620	0,3100	0,0015500	37,7882
680	680000	633	0,3165	0,0015825	38,3522
690	690000	642	0,3210	0,0016050	38,9162
700	700000	662	0,3310	0,0016550	39,4802
710	710000	676	0,3380	0,0016900	40,0442
720	720000	692	0,3460	0,0017300	40,6082
730	730000	708	0,3540	0,0017700	41,1722
740	740000	725	0,3625	0,0018125	41,7362
750	750000	740	0,3700	0,0018500	42,3002
760	760000	754	0,3770	0,0018850	42,8642
770	770000	775	0,3875	0,0019375	43,4282
780	780000	796	0,3980	0,0019900	43,9922
790	790000	816	0,4080	0,0020400	44,5562
800	800000	837	0,4185	0,0020925	45,1202
810	810000	862	0,4310	0,0021550	45,6842
820	820000	890	0,4450	0,0022250	46,2482
830	830000	924	0,4620	0,0023100	46,8122
840	840000	959	0,4795	0,0023975	47,3762
845,9	845900	1035	0,5175	0,0025875	47,7090
840	840000	1107	0,5535	0,0027675	47,3762
830	830000	1150	0,5750	0,0028750	46,8122

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z8 Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z8 Sampel 3

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	151,20	mm
Tinggi	302,55	mm
Luas	17955,33	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2393,06	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	44,49	MPa

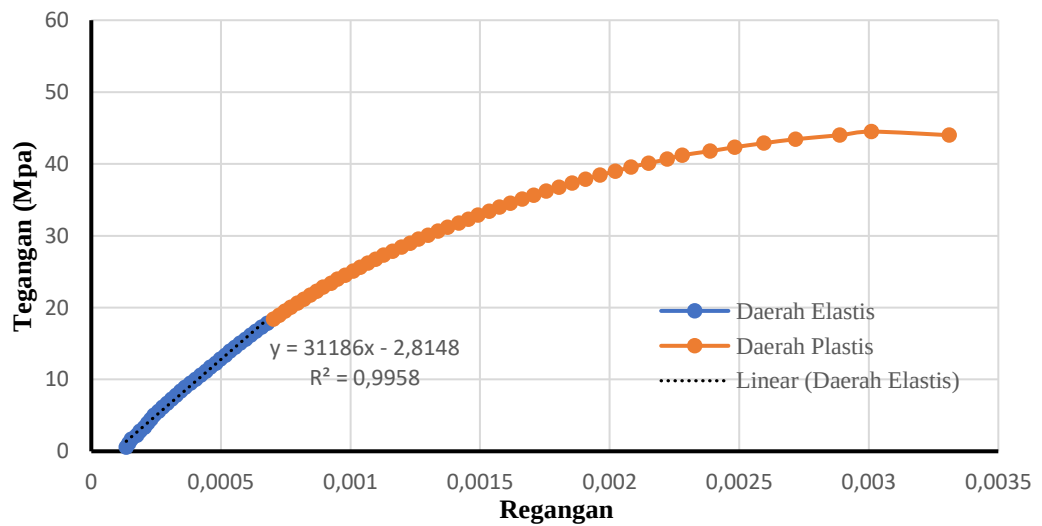
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5569
20	20000	6	0,0030	0,0000150	1,1139
30	30000	10	0,0050	0,0000250	1,6708
40	40000	18	0,0090	0,0000450	2,2278
50	50000	23	0,0115	0,0000575	2,7847
60	60000	30	0,0150	0,0000750	3,3416
70	70000	35	0,0175	0,0000875	3,8986
80	80000	40	0,0200	0,0001000	4,4555
90	90000	45	0,0225	0,0001125	5,0124
100	100000	52	0,0260	0,0001300	5,5694
110	110000	58	0,0290	0,0001450	6,1263
120	120000	65	0,0325	0,0001625	6,6833
130	130000	72	0,0360	0,0001800	7,2402
140	140000	79	0,0395	0,0001975	7,7971
150	150000	86	0,0430	0,0002150	8,3541
160	160000	93	0,0465	0,0002325	8,9110
170	170000	101	0,0505	0,0002525	9,4679
180	180000	109	0,0545	0,0002725	10,0249
190	190000	117	0,0585	0,0002925	10,5818
200	200000	125	0,0625	0,0003125	11,1388
210	210000	132	0,0660	0,0003300	11,6957
220	220000	140	0,0700	0,0003500	12,2526
230	230000	147	0,0735	0,0003675	12,8096
240	240000	155	0,0775	0,0003875	13,3665
250	250000	162	0,0810	0,0004050	13,9234
260	260000	170	0,0850	0,0004250	14,4804

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	178	0,0890	0,0004450	15,0373
280	280000	186	0,0930	0,0004650	15,5943
290	290000	194	0,0970	0,0004850	16,1512
300	300000	202	0,1010	0,0005050	16,7081
310	310000	211	0,1055	0,0005275	17,2651
320	320000	220	0,1100	0,0005500	17,8220
330	330000	229	0,1145	0,0005725	18,3789
340	340000	238	0,1190	0,0005950	18,9359
350	350000	247	0,1235	0,0006175	19,4928
360	360000	256	0,1280	0,0006400	20,0498
370	370000	266	0,1330	0,0006650	20,6067
380	380000	276	0,1380	0,0006900	21,1636
390	390000	286	0,1430	0,0007150	21,7206
400	400000	296	0,1480	0,0007400	22,2775
410	410000	306	0,1530	0,0007650	22,8344
420	420000	318	0,1590	0,0007950	23,3914
430	430000	328	0,1640	0,0008200	23,9483
440	440000	340	0,1700	0,0008500	24,5053
450	450000	352	0,1760	0,0008800	25,0622
460	460000	363	0,1815	0,0009075	25,6191
470	470000	375	0,1875	0,0009375	26,1761
480	480000	387	0,1935	0,0009675	26,7330
490	490000	399	0,1995	0,0009975	27,2899
500	500000	413	0,2065	0,0010325	27,8469
510	510000	427	0,2135	0,0010675	28,4038
520	520000	440	0,2200	0,0011000	28,9608
530	530000	453	0,2265	0,0011325	29,5177
540	540000	468	0,2340	0,0011700	30,0746
550	550000	483	0,2415	0,0012075	30,6316
560	560000	498	0,2490	0,0012450	31,1885
570	570000	515	0,2575	0,0012875	31,7454
580	580000	530	0,2650	0,0013250	32,3024
590	590000	545	0,2725	0,0013625	32,8593
600	600000	562	0,2810	0,0014050	33,4163
610	610000	578	0,2890	0,0014450	33,9732
620	620000	595	0,2975	0,0014875	34,5301
630	630000	613	0,3065	0,0015325	35,0871
640	640000	631	0,3155	0,0015775	35,6440
650	650000	650	0,3250	0,0016250	36,2009
660	660000	670	0,3350	0,0016750	36,7579

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	690	0,3450	0,0017250	37,3148
680	680000	711	0,3555	0,0017775	37,8718
690	690000	733	0,3665	0,0018325	38,4287
700	700000	757	0,3785	0,0018925	38,9856
710	710000	781	0,3905	0,0019525	39,5426
720	720000	808	0,4040	0,0020200	40,0995
730	730000	837	0,4185	0,0020925	40,6564
740	740000	860	0,4300	0,0021500	41,2134
750	750000	903	0,4515	0,0022575	41,7703
760	760000	941	0,4705	0,0023525	42,3273
770	770000	986	0,4930	0,0024650	42,8842
780	780000	1035	0,5175	0,0025875	43,4411
790	790000	1103	0,5515	0,0027575	43,9981
798,9	798900	1152	0,5760	0,0028800	44,4937
790	790000	1272	0,6360	0,0031800	43,9981

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z8 Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z9 Sampel 1

I. Data Benda Uji

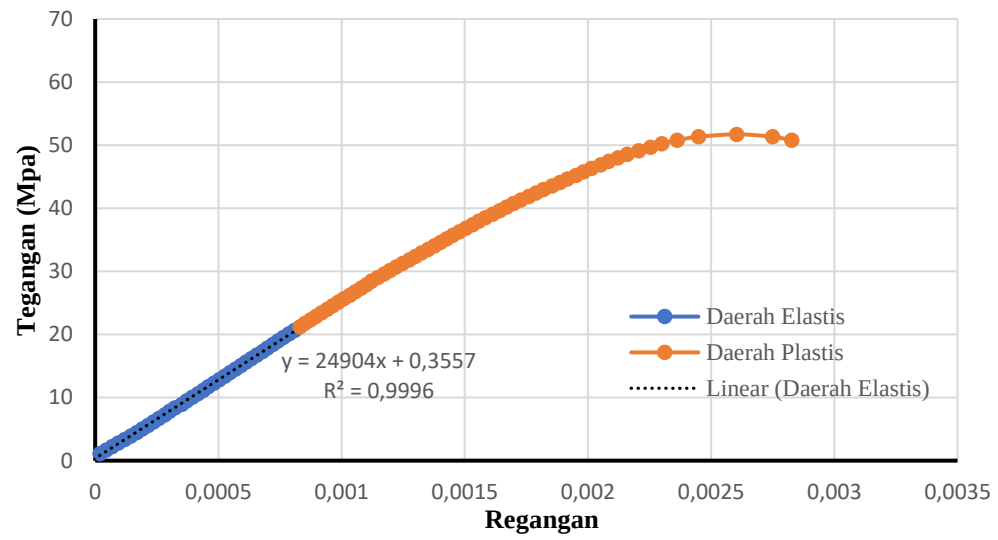
Umur Uji	28	Hari
Diameter	151,04	mm
Tinggi	304,21	mm
Luas	17916,56	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2271,76	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	51,72	MPa

II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	4	0,0020	0,0000100	0,5581
20	20000	14	0,0070	0,0000350	1,1163
30	30000	24	0,0120	0,0000600	1,6744
40	40000	34	0,0170	0,0000850	2,2326
50	50000	44	0,0220	0,0001100	2,7907
60	60000	54	0,0270	0,0001350	3,3489
70	70000	64	0,0320	0,0001600	3,9070
80	80000	74	0,0370	0,0001850	4,4651
90	90000	83	0,0415	0,0002075	5,0233
100	100000	92	0,0460	0,0002300	5,5814
110	110000	101	0,0505	0,0002525	6,1396
120	120000	110	0,0550	0,0002750	6,6977
130	130000	119	0,0595	0,0002975	7,2559
140	140000	127	0,0635	0,0003175	7,8140
150	150000	136	0,0680	0,0003400	8,3721
160	160000	147	0,0735	0,0003675	8,9303
170	170000	155	0,0775	0,0003875	9,4884
180	180000	164	0,0820	0,0004100	10,0466
190	190000	173	0,0865	0,0004325	10,6047
200	200000	182	0,0910	0,0004550	11,1629
210	210000	190	0,0950	0,0004750	11,7210
220	220000	199	0,0995	0,0004975	12,2791
230	230000	208	0,1040	0,0005200	12,8373
240	240000	217	0,1085	0,0005425	13,3954
250	250000	225	0,1125	0,0005625	13,9536
260	260000	234	0,1170	0,0005850	14,5117

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	243	0,1215	0,0006075	15,0699
280	280000	251	0,1255	0,0006275	15,6280
290	290000	260	0,1300	0,0006500	16,1861
300	300000	269	0,1345	0,0006725	16,7443
310	310000	278	0,1390	0,0006950	17,3024
320	320000	286	0,1430	0,0007150	17,8606
330	330000	295	0,1475	0,0007375	18,4187
340	340000	303	0,1515	0,0007575	18,9769
350	350000	312	0,1560	0,0007800	19,5350
360	360000	321	0,1605	0,0008025	20,0931
370	370000	330	0,1650	0,0008250	20,6513
380	380000	339	0,1695	0,0008475	21,2094
390	390000	347	0,1735	0,0008675	21,7676
400	400000	356	0,1780	0,0008900	22,3257
410	410000	365	0,1825	0,0009125	22,8839
420	420000	374	0,1870	0,0009350	23,4420
430	430000	383	0,1915	0,0009575	24,0001
440	440000	392	0,1960	0,0009800	24,5583
450	450000	401	0,2005	0,0010025	25,1164
460	460000	410	0,2050	0,0010250	25,6746
470	470000	420	0,2100	0,0010500	26,2327
480	480000	429	0,2145	0,0010725	26,7909
490	490000	438	0,2190	0,0010950	27,3490
500	500000	447	0,2235	0,0011175	27,9071
510	510000	455	0,2275	0,0011375	28,4653
520	520000	465	0,2325	0,0011625	29,0234
530	530000	475	0,2375	0,0011875	29,5816
540	540000	485	0,2425	0,0012125	30,1397
550	550000	495	0,2475	0,0012375	30,6979
560	560000	505	0,2525	0,0012625	31,2560
570	570000	516	0,2580	0,0012900	31,8141
580	580000	526	0,2630	0,0013150	32,3723
590	590000	536	0,2680	0,0013400	32,9304
600	600000	547	0,2735	0,0013675	33,4886
610	610000	557	0,2785	0,0013925	34,0467
620	620000	567	0,2835	0,0014175	34,6049
630	630000	577	0,2885	0,0014425	35,1630
640	640000	587	0,2935	0,0014675	35,7211
650	650000	598	0,2990	0,0014950	36,2793
660	660000	608	0,3040	0,0015200	36,8374

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	619	0,3095	0,0015475	37,3956
680	680000	629	0,3145	0,0015725	37,9537
690	690000	640	0,3200	0,0016000	38,5119
700	700000	652	0,3260	0,0016300	39,0700
710	710000	663	0,3315	0,0016575	39,6281
720	720000	674	0,3370	0,0016850	40,1863
730	730000	685	0,3425	0,0017125	40,7444
740	740000	697	0,3485	0,0017425	41,3026
750	750000	710	0,3550	0,0017750	41,8607
760	760000	722	0,3610	0,0018050	42,4189
770	770000	734	0,3670	0,0018350	42,9770
780	780000	748	0,3740	0,0018700	43,5351
790	790000	761	0,3805	0,0019025	44,0933
800	800000	773	0,3865	0,0019325	44,6514
810	810000	787	0,3935	0,0019675	45,2096
820	820000	799	0,3995	0,0019975	45,7677
830	830000	812	0,4060	0,0020300	46,3259
840	840000	827	0,4135	0,0020675	46,8840
850	850000	840	0,4200	0,0021000	47,4421
860	860000	855	0,4275	0,0021375	48,0003
870	870000	870	0,4350	0,0021750	48,5584
880	880000	889	0,4445	0,0022225	49,1166
890	890000	908	0,4540	0,0022700	49,6747
900	900000	926	0,4630	0,0023150	50,2329
910	910000	951	0,4755	0,0023775	50,7910
920	920000	986	0,4930	0,0024650	51,3491
926,6	926600	1048	0,5240	0,0026200	51,7175
920	920000	1106	0,5530	0,0027650	51,3491
910	910000	1137	0,5685	0,0028425	50,7910

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z9 Sampel 1

Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z9 Sampel 2

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,60	mm
Tinggi	302,21	mm
Luas	17813,11	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2414,88	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	44,20	MPa

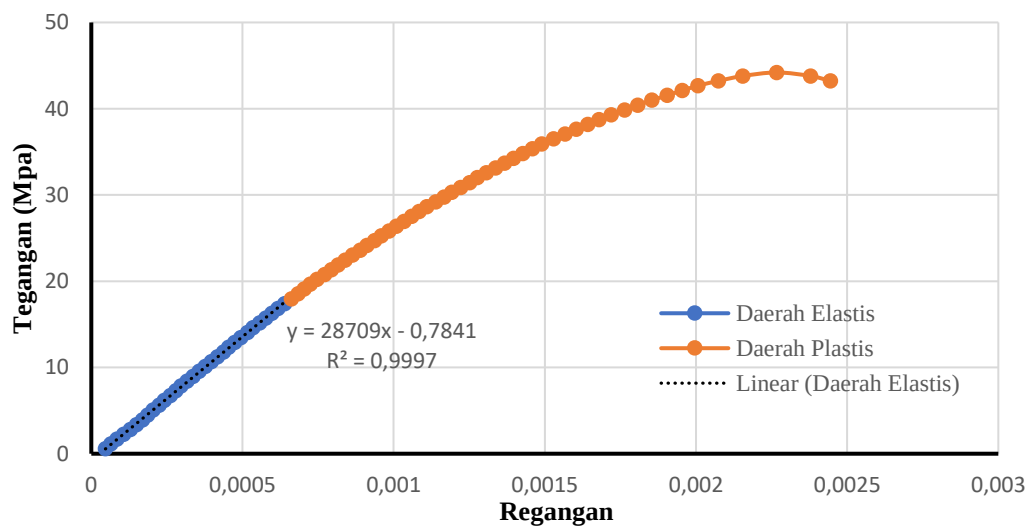
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5614
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,1228
30	30000	17	0,0085	0,0000425	1,6842
40	40000	26	0,0130	0,0000650	2,2455
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,8069
60	60000	43	0,0215	0,0001075	3,3683
70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,9297
80	80000	58	0,0290	0,0001450	4,4911
90	90000	65	0,0325	0,0001625	5,0525
100	100000	73	0,0365	0,0001825	5,6138
110	110000	80	0,0400	0,0002000	6,1752
120	120000	88	0,0440	0,0002200	6,7366
130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,2980
140	140000	102	0,0510	0,0002550	7,8594
150	150000	110	0,0550	0,0002750	8,4208
160	160000	118	0,0590	0,0002950	8,9821
170	170000	126	0,0630	0,0003150	9,5435
180	180000	134	0,0670	0,0003350	10,1049
190	190000	142	0,0710	0,0003550	10,6663
200	200000	150	0,0750	0,0003750	11,2277
210	210000	158	0,0790	0,0003950	11,7891
220	220000	165	0,0825	0,0004125	12,3505
230	230000	173	0,0865	0,0004325	12,9118
240	240000	181	0,0905	0,0004525	13,4732
250	250000	190	0,0950	0,0004750	14,0346
260	260000	197	0,0985	0,0004925	14,5960

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	206	0,1030	0,0005150	15,1574
280	280000	214	0,1070	0,0005350	15,7188
290	290000	222	0,1110	0,0005550	16,2801
300	300000	230	0,1150	0,0005750	16,8415
310	310000	239	0,1195	0,0005975	17,4029
320	320000	248	0,1240	0,0006200	17,9643
330	330000	257	0,1285	0,0006425	18,5257
340	340000	265	0,1325	0,0006625	19,0871
350	350000	273	0,1365	0,0006825	19,6484
360	360000	282	0,1410	0,0007050	20,2098
370	370000	292	0,1460	0,0007300	20,7712
380	380000	301	0,1505	0,0007525	21,3326
390	390000	310	0,1550	0,0007750	21,8940
400	400000	319	0,1595	0,0007975	22,4554
410	410000	329	0,1645	0,0008225	23,0168
420	420000	339	0,1695	0,0008475	23,5781
430	430000	348	0,1740	0,0008700	24,1395
440	440000	358	0,1790	0,0008950	24,7009
450	450000	367	0,1835	0,0009175	25,2623
460	460000	377	0,1885	0,0009425	25,8237
470	470000	387	0,1935	0,0009675	26,3851
480	480000	397	0,1985	0,0009925	26,9464
490	490000	407	0,2035	0,0010175	27,5078
500	500000	417	0,2085	0,0010425	28,0692
510	510000	427	0,2135	0,0010675	28,6306
520	520000	439	0,2195	0,0010975	29,1920
530	530000	450	0,2250	0,0011250	29,7534
540	540000	460	0,2300	0,0011500	30,3147
550	550000	472	0,2360	0,0011800	30,8761
560	560000	484	0,2420	0,0012100	31,4375
570	570000	494	0,2470	0,0012350	31,9989
580	580000	506	0,2530	0,0012650	32,5603
590	590000	518	0,2590	0,0012950	33,1217
600	600000	530	0,2650	0,0013250	33,6831
610	610000	542	0,2710	0,0013550	34,2444
620	620000	554	0,2770	0,0013850	34,8058
630	630000	567	0,2835	0,0014175	35,3672
640	640000	579	0,2895	0,0014475	35,9286
650	650000	595	0,2975	0,0014875	36,4900
660	660000	610	0,3050	0,0015250	37,0514

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	625	0,3125	0,0015625	37,6127
680	680000	640	0,3200	0,0016000	38,1741
690	690000	655	0,3275	0,0016375	38,7355
700	700000	671	0,3355	0,0016775	39,2969
710	710000	689	0,3445	0,0017225	39,8583
720	720000	706	0,3530	0,0017650	40,4197
730	730000	725	0,3625	0,0018125	40,9810
740	740000	745	0,3725	0,0018625	41,5424
750	750000	765	0,3825	0,0019125	42,1038
760	760000	786	0,3930	0,0019650	42,6652
770	770000	813	0,4065	0,0020325	43,2266
780	780000	845	0,4225	0,0021125	43,7880
787,4	787400	890	0,4450	0,0022250	44,2034
780	780000	935	0,4675	0,0023375	43,7880
770	770000	961	0,4805	0,0024025	43,2266

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z9 Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z9 Sampel 3

I. Data Benda Uji

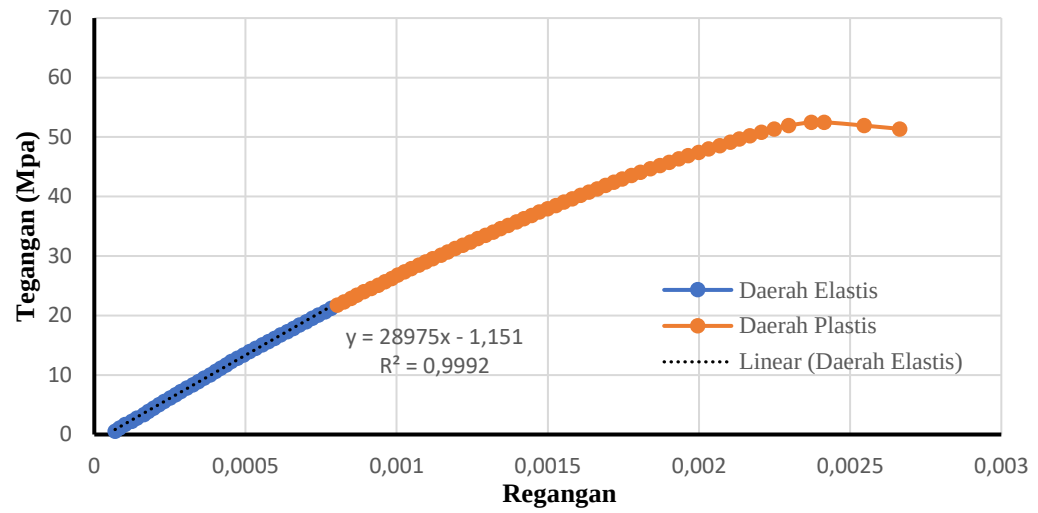
Umur Uji	28	Hari
Diameter	151,00	mm
Tinggi	302,75	mm
Luas	17907,86	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2328,65	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	52,50	MPa

II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5584
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,1168
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,6752
40	40000	24	0,0120	0,0000600	2,2337
50	50000	31	0,0155	0,0000775	2,7921
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,3505
70	70000	46	0,0230	0,0001150	3,9089
80	80000	53	0,0265	0,0001325	4,4673
90	90000	60	0,0300	0,0001500	5,0257
100	100000	67	0,0335	0,0001675	5,5841
110	110000	75	0,0375	0,0001875	6,1426
120	120000	82	0,0410	0,0002050	6,7010
130	130000	89	0,0445	0,0002225	7,2594
140	140000	97	0,0485	0,0002425	7,8178
150	150000	105	0,0525	0,0002625	8,3762
160	160000	112	0,0560	0,0002800	8,9346
170	170000	120	0,0600	0,0003000	9,4930
180	180000	128	0,0640	0,0003200	10,0515
190	190000	135	0,0675	0,0003375	10,6099
200	200000	142	0,0710	0,0003550	11,1683
210	210000	149	0,0745	0,0003725	11,7267
220	220000	156	0,0780	0,0003900	12,2851
230	230000	164	0,0820	0,0004100	12,8435
240	240000	172	0,0860	0,0004300	13,4019
250	250000	180	0,0900	0,0004500	13,9603
260	260000	188	0,0940	0,0004700	14,5188

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	197	0,0985	0,0004925	15,0772
280	280000	205	0,1025	0,0005125	15,6356
290	290000	213	0,1065	0,0005325	16,1940
300	300000	221	0,1105	0,0005525	16,7524
310	310000	230	0,1150	0,0005750	17,3108
320	320000	238	0,1190	0,0005950	17,8692
330	330000	246	0,1230	0,0006150	18,4277
340	340000	255	0,1275	0,0006375	18,9861
350	350000	263	0,1315	0,0006575	19,5445
360	360000	271	0,1355	0,0006775	20,1029
370	370000	280	0,1400	0,0007000	20,6613
380	380000	288	0,1440	0,0007200	21,2197
390	390000	296	0,1480	0,0007400	21,7781
400	400000	305	0,1525	0,0007625	22,3366
410	410000	314	0,1570	0,0007850	22,8950
420	420000	322	0,1610	0,0008050	23,4534
430	430000	331	0,1655	0,0008275	24,0118
440	440000	341	0,1705	0,0008525	24,5702
450	450000	350	0,1750	0,0008750	25,1286
460	460000	359	0,1795	0,0008975	25,6870
470	470000	368	0,1840	0,0009200	26,2455
480	480000	376	0,1880	0,0009400	26,8039
490	490000	385	0,1925	0,0009625	27,3623
500	500000	394	0,1970	0,0009850	27,9207
510	510000	404	0,2020	0,0010100	28,4791
520	520000	413	0,2065	0,0010325	29,0375
530	530000	422	0,2110	0,0010550	29,5959
540	540000	433	0,2165	0,0010825	30,1544
550	550000	442	0,2210	0,0011050	30,7128
560	560000	452	0,2260	0,0011300	31,2712
570	570000	462	0,2310	0,0011550	31,8296
580	580000	472	0,2360	0,0011800	32,3880
590	590000	482	0,2410	0,0012050	32,9464
600	600000	492	0,2460	0,0012300	33,5048
610	610000	502	0,2510	0,0012550	34,0632
620	620000	512	0,2560	0,0012800	34,6217
630	630000	522	0,2610	0,0013050	35,1801
640	640000	533	0,2665	0,0013325	35,7385
650	650000	543	0,2715	0,0013575	36,2969
660	660000	553	0,2765	0,0013825	36,8553

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	563	0,2815	0,0014075	37,4137
680	680000	574	0,2870	0,0014350	37,9721
690	690000	585	0,2925	0,0014625	38,5306
700	700000	596	0,2980	0,0014900	39,0890
710	710000	607	0,3035	0,0015175	39,6474
720	720000	618	0,3090	0,0015450	40,2058
730	730000	629	0,3145	0,0015725	40,7642
740	740000	640	0,3200	0,0016000	41,3226
750	750000	651	0,3255	0,0016275	41,8810
760	760000	662	0,3310	0,0016550	42,4395
770	770000	673	0,3365	0,0016825	42,9979
780	780000	685	0,3425	0,0017125	43,5563
790	790000	697	0,3485	0,0017425	44,1147
800	800000	710	0,3550	0,0017750	44,6731
810	810000	723	0,3615	0,0018075	45,2315
820	820000	735	0,3675	0,0018375	45,7899
830	830000	748	0,3740	0,0018700	46,3484
840	840000	760	0,3800	0,0019000	46,9068
850	850000	774	0,3870	0,0019350	47,4652
860	860000	787	0,3935	0,0019675	48,0236
870	870000	802	0,4010	0,0020050	48,5820
880	880000	816	0,4080	0,0020400	49,1404
890	890000	828	0,4140	0,0020700	49,6988
900	900000	842	0,4210	0,0021050	50,2573
910	910000	857	0,4285	0,0021425	50,8157
920	920000	874	0,4370	0,0021850	51,3741
930	930000	893	0,4465	0,0022325	51,9325
940	940000	923	0,4615	0,0023075	52,4909
940,2	940200	940	0,4700	0,0023500	52,5021
930	930000	993	0,4965	0,0024825	51,9325
920	920000	1040	0,5200	0,0026000	51,3741

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z9 Sampel 3

Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z10 Sampel 1

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,40	mm
Tinggi	301,70	mm
Luas	17765,83	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2325,39	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	49,03	MPa

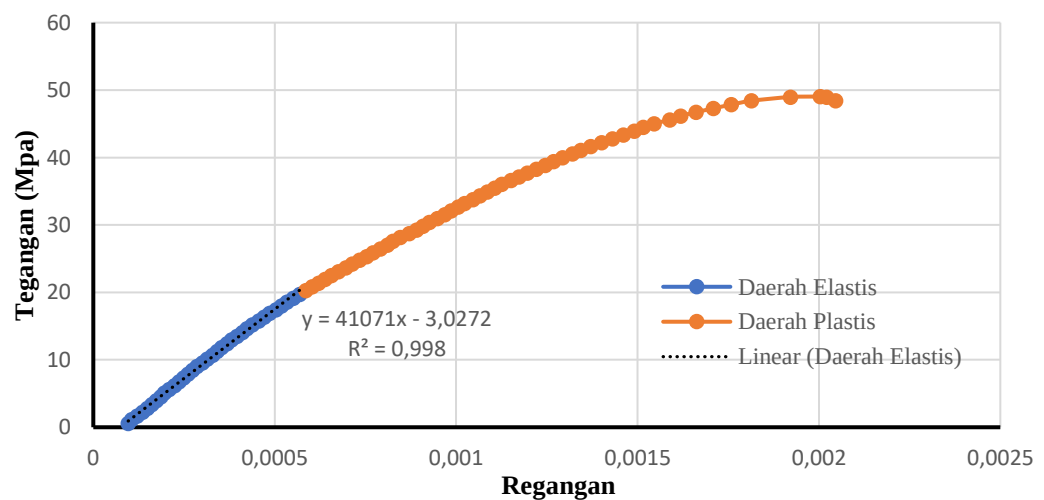
II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	0	0,0000	0,0000000	0,5629
20	20000	4	0,0020	0,0000100	1,1258
30	30000	10	0,0050	0,0000250	1,6886
40	40000	16	0,0080	0,0000400	2,2515
50	50000	21	0,0105	0,0000525	2,8144
60	60000	26	0,0130	0,0000650	3,3773
70	70000	31	0,0155	0,0000775	3,9401
80	80000	36	0,0180	0,0000900	4,5030
90	90000	40	0,0200	0,0001000	5,0659
100	100000	45	0,0225	0,0001125	5,6288
110	110000	51	0,0255	0,0001275	6,1917
120	120000	56	0,0280	0,0001400	6,7545
130	130000	61	0,0305	0,0001525	7,3174
140	140000	66	0,0330	0,0001650	7,8803
150	150000	71	0,0355	0,0001775	8,4432
160	160000	76	0,0380	0,0001900	9,0061
170	170000	82	0,0410	0,0002050	9,5689
180	180000	87	0,0435	0,0002175	10,1318
190	190000	93	0,0465	0,0002325	10,6947
200	200000	98	0,0490	0,0002450	11,2576
210	210000	103	0,0515	0,0002575	11,8204
220	220000	109	0,0545	0,0002725	12,3833
230	230000	114	0,0570	0,0002850	12,9462
240	240000	120	0,0600	0,0003000	13,5091
250	250000	126	0,0630	0,0003150	14,0720
260	260000	131	0,0655	0,0003275	14,6348

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	137	0,0685	0,0003425	15,1977
280	280000	144	0,0720	0,0003600	15,7606
290	290000	150	0,0750	0,0003750	16,3235
300	300000	156	0,0780	0,0003900	16,8863
310	310000	163	0,0815	0,0004075	17,4492
320	320000	169	0,0845	0,0004225	18,0121
330	330000	175	0,0875	0,0004375	18,5750
340	340000	182	0,0910	0,0004550	19,1379
350	350000	189	0,0945	0,0004725	19,7007
360	360000	196	0,0980	0,0004900	20,2636
370	370000	203	0,1015	0,0005075	20,8265
380	380000	210	0,1050	0,0005250	21,3894
390	390000	217	0,1085	0,0005425	21,9523
400	400000	224	0,1120	0,0005600	22,5151
410	410000	232	0,1160	0,0005800	23,0780
420	420000	240	0,1200	0,0006000	23,6409
430	430000	247	0,1235	0,0006175	24,2038
440	440000	255	0,1275	0,0006375	24,7666
450	450000	263	0,1315	0,0006575	25,3295
460	460000	270	0,1350	0,0006750	25,8924
470	470000	278	0,1390	0,0006950	26,4553
480	480000	286	0,1430	0,0007150	27,0182
490	490000	292	0,1460	0,0007300	27,5810
500	500000	300	0,1500	0,0007500	28,1439
510	510000	310	0,1550	0,0007750	28,7068
520	520000	318	0,1590	0,0007950	29,2697
530	530000	325	0,1625	0,0008125	29,8325
540	540000	332	0,1660	0,0008300	30,3954
550	550000	341	0,1705	0,0008525	30,9583
560	560000	349	0,1745	0,0008725	31,5212
570	570000	356	0,1780	0,0008900	32,0841
580	580000	364	0,1820	0,0009100	32,6469
590	590000	371	0,1855	0,0009275	33,2098
600	600000	380	0,1900	0,0009500	33,7727
610	610000	388	0,1940	0,0009700	34,3356
620	620000	396	0,1980	0,0009900	34,8984
630	630000	404	0,2020	0,0010100	35,4613
640	640000	412	0,2060	0,0010300	36,0242
650	650000	422	0,2110	0,0010550	36,5871
660	660000	431	0,2155	0,0010775	37,1500

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	440	0,2200	0,0011000	37,7128
680	680000	450	0,2250	0,0011250	38,2757
690	690000	460	0,2300	0,0011500	38,8386
700	700000	469	0,2345	0,0011725	39,4015
710	710000	479	0,2395	0,0011975	39,9644
720	720000	490	0,2450	0,0012250	40,5272
730	730000	499	0,2495	0,0012475	41,0901
740	740000	510	0,2550	0,0012750	41,6530
750	750000	522	0,2610	0,0013050	42,2159
760	760000	534	0,2670	0,0013350	42,7787
770	770000	546	0,2730	0,0013650	43,3416
780	780000	558	0,2790	0,0013950	43,9045
790	790000	568	0,2840	0,0014200	44,4674
800	800000	580	0,2900	0,0014500	45,0303
810	810000	597	0,2985	0,0014925	45,5931
820	820000	609	0,3045	0,0015225	46,1560
830	830000	626	0,3130	0,0015650	46,7189
840	840000	645	0,3225	0,0016125	47,2818
850	850000	665	0,3325	0,0016625	47,8446
860	860000	687	0,3435	0,0017175	48,4075
870	870000	730	0,3650	0,0018250	48,9704
871,1	871100	763	0,3815	0,0019075	49,0323
870	870000	770	0,3850	0,0019250	48,9704
860	860000	780	0,3900	0,0019500	48,4075

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z10 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z10 Sampel 2

I. Data Benda Uji

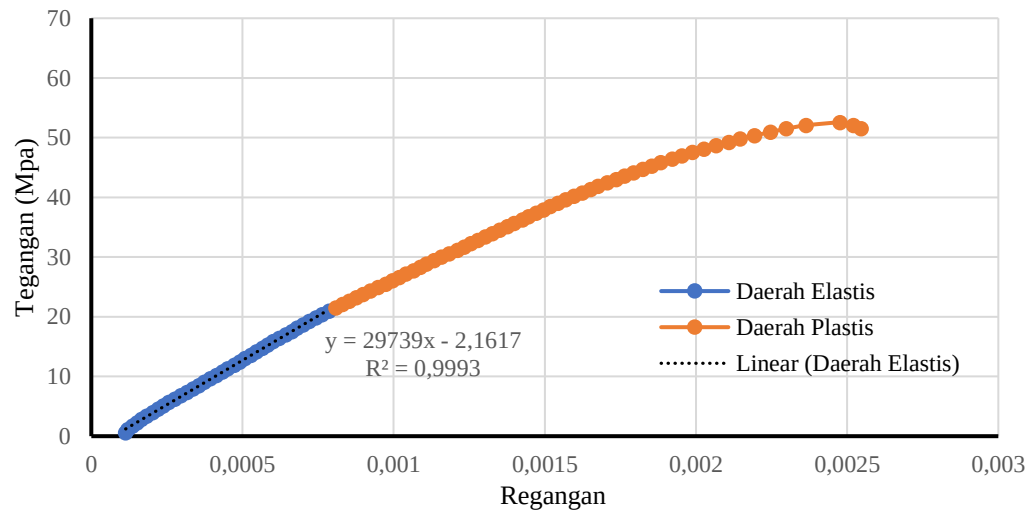
Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,00	mm
Tinggi	303,00	mm
Luas	17671,46	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2342,16	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	52,53	MPa

II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,5659
20	20000	6	0,0030	0,0000150	1,1318
30	30000	12	0,0060	0,0000300	1,6977
40	40000	18	0,0090	0,0000450	2,2635
50	50000	24	0,0120	0,0000600	2,8294
60	60000	31	0,0155	0,0000775	3,3953
70	70000	39	0,0195	0,0000975	3,9612
80	80000	46	0,0230	0,0001150	4,5271
90	90000	53	0,0265	0,0001325	5,0930
100	100000	60	0,0300	0,0001500	5,6588
110	110000	68	0,0340	0,0001700	6,2247
120	120000	76	0,0380	0,0001900	6,7906
130	130000	84	0,0420	0,0002100	7,3565
140	140000	92	0,0460	0,0002300	7,9224
150	150000	100	0,0500	0,0002500	8,4883
160	160000	107	0,0535	0,0002675	9,0541
170	170000	115	0,0575	0,0002875	9,6200
180	180000	123	0,0615	0,0003075	10,1859
190	190000	131	0,0655	0,0003275	10,7518
200	200000	138	0,0690	0,0003450	11,3177
210	210000	147	0,0735	0,0003675	11,8836
220	220000	154	0,0770	0,0003850	12,4495
230	230000	161	0,0805	0,0004025	13,0153
240	240000	169	0,0845	0,0004225	13,5812
250	250000	176	0,0880	0,0004400	14,1471
260	260000	184	0,0920	0,0004600	14,7130

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	191	0,0955	0,0004775	15,2789
280	280000	198	0,0990	0,0004950	15,8448
290	290000	206	0,1030	0,0005150	16,4106
300	300000	215	0,1075	0,0005375	16,9765
310	310000	223	0,1115	0,0005575	17,5424
320	320000	230	0,1150	0,0005750	18,1083
330	330000	238	0,1190	0,0005950	18,6742
340	340000	246	0,1230	0,0006150	19,2401
350	350000	255	0,1275	0,0006375	19,8059
360	360000	263	0,1315	0,0006575	20,3718
370	370000	272	0,1360	0,0006800	20,9377
380	380000	281	0,1405	0,0007025	21,5036
390	390000	290	0,1450	0,0007250	22,0695
400	400000	299	0,1495	0,0007475	22,6354
410	410000	308	0,1540	0,0007700	23,2013
420	420000	317	0,1585	0,0007925	23,7671
430	430000	327	0,1635	0,0008175	24,3330
440	440000	337	0,1685	0,0008425	24,8989
450	450000	347	0,1735	0,0008675	25,4648
460	460000	356	0,1780	0,0008900	26,0307
470	470000	365	0,1825	0,0009125	26,5966
480	480000	374	0,1870	0,0009350	27,1624
490	490000	384	0,1920	0,0009600	27,7283
500	500000	393	0,1965	0,0009825	28,2942
510	510000	401	0,2005	0,0010025	28,8601
520	520000	411	0,2055	0,0010275	29,4260
530	530000	421	0,2105	0,0010525	29,9919
540	540000	431	0,2155	0,0010775	30,5577
550	550000	442	0,2210	0,0011050	31,1236
560	560000	451	0,2255	0,0011275	31,6895
570	570000	460	0,2300	0,0011500	32,2554
580	580000	469	0,2345	0,0011725	32,8213
590	590000	479	0,2395	0,0011975	33,3872
600	600000	488	0,2440	0,0012200	33,9531
610	610000	498	0,2490	0,0012450	34,5189
620	620000	508	0,2540	0,0012700	35,0848
630	630000	517	0,2585	0,0012925	35,6507
640	640000	528	0,2640	0,0013200	36,2166
650	650000	536	0,2680	0,0013400	36,7825
660	660000	546	0,2730	0,0013650	37,3484

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	556	0,2780	0,0013900	37,9142
680	680000	565	0,2825	0,0014125	38,4801
690	690000	575	0,2875	0,0014375	39,0460
700	700000	585	0,2925	0,0014625	39,6119
710	710000	596	0,2980	0,0014900	40,1778
720	720000	607	0,3035	0,0015175	40,7437
730	730000	618	0,3090	0,0015450	41,3095
740	740000	628	0,3140	0,0015700	41,8754
750	750000	640	0,3200	0,0016000	42,4413
760	760000	652	0,3260	0,0016300	43,0072
770	770000	663	0,3315	0,0016575	43,5731
780	780000	675	0,3375	0,0016875	44,1390
790	790000	687	0,3435	0,0017175	44,7049
800	800000	699	0,3495	0,0017475	45,2707
810	810000	711	0,3555	0,0017775	45,8366
820	820000	726	0,3630	0,0018150	46,4025
830	830000	739	0,3695	0,0018475	46,9684
840	840000	753	0,3765	0,0018825	47,5343
850	850000	768	0,3840	0,0019200	48,1002
860	860000	784	0,3920	0,0019600	48,6660
870	870000	801	0,4005	0,0020025	49,2319
880	880000	816	0,4080	0,0020400	49,7978
890	890000	835	0,4175	0,0020875	50,3637
900	900000	856	0,4280	0,0021400	50,9296
910	910000	877	0,4385	0,0021925	51,4955
920	920000	903	0,4515	0,0022575	52,0614
928,3	928300	948	0,4740	0,0023700	52,5310
920	920000	966	0,4830	0,0024150	52,0614
910	910000	976	0,4880	0,0024400	51,4955

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z10 Sampel 2

Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z10 Sampel 3

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	149,80	mm
Tinggi	302,30	mm
Luas	17624,37	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2430,63	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	63,85	MPa

II. Hasil Pengujian

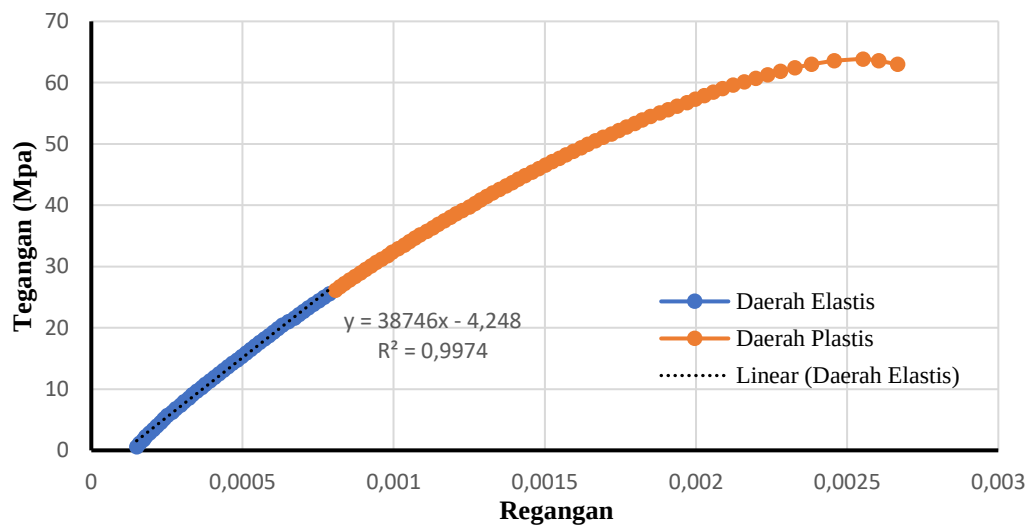
Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	1	0,0005	0,0000025	0,5674
20	20000	5	0,0025	0,0000125	1,1348
30	30000	10	0,0050	0,0000250	1,7022
40	40000	13	0,0065	0,0000325	2,2696
50	50000	18	0,0090	0,0000450	2,8370
60	60000	23	0,0115	0,0000575	3,4044
70	70000	28	0,0140	0,0000700	3,9718
80	80000	33	0,0165	0,0000825	4,5392
90	90000	37	0,0185	0,0000925	5,1066
100	100000	42	0,0210	0,0001050	5,6740
110	110000	48	0,0240	0,0001200	6,2414
120	120000	53	0,0265	0,0001325	6,8088
130	130000	59	0,0295	0,0001475	7,3762
140	140000	64	0,0320	0,0001600	7,9435
150	150000	70	0,0350	0,0001750	8,5109
160	160000	75	0,0375	0,0001875	9,0783
170	170000	81	0,0405	0,0002025	9,6457
180	180000	87	0,0435	0,0002175	10,2131
190	190000	92	0,0460	0,0002300	10,7805
200	200000	98	0,0490	0,0002450	11,3479
210	210000	104	0,0520	0,0002600	11,9153
220	220000	110	0,0550	0,0002750	12,4827
230	230000	116	0,0580	0,0002900	13,0501
240	240000	122	0,0610	0,0003050	13,6175
250	250000	128	0,0640	0,0003200	14,1849
260	260000	134	0,0670	0,0003350	14,7523

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	140	0,0700	0,0003500	15,3197
280	280000	146	0,0730	0,0003650	15,8871
290	290000	152	0,0760	0,0003800	16,4545
300	300000	158	0,0790	0,0003950	17,0219
310	310000	164	0,0820	0,0004100	17,5893
320	320000	170	0,0850	0,0004250	18,1567
330	330000	176	0,0880	0,0004400	18,7241
340	340000	182	0,0910	0,0004550	19,2915
350	350000	188	0,0940	0,0004700	19,8589
360	360000	194	0,0970	0,0004850	20,4263
370	370000	202	0,1010	0,0005050	20,9937
380	380000	210	0,1050	0,0005250	21,5611
390	390000	216	0,1080	0,0005400	22,1285
400	400000	222	0,1110	0,0005550	22,6959
410	410000	228	0,1140	0,0005700	23,2632
420	420000	235	0,1175	0,0005875	23,8306
430	430000	242	0,1210	0,0006050	24,3980
440	440000	249	0,1245	0,0006225	24,9654
450	450000	256	0,1280	0,0006400	25,5328
460	460000	264	0,1320	0,0006600	26,1002
470	470000	270	0,1350	0,0006750	26,6676
480	480000	276	0,1380	0,0006900	27,2350
490	490000	283	0,1415	0,0007075	27,8024
500	500000	290	0,1450	0,0007250	28,3698
510	510000	297	0,1485	0,0007425	28,9372
520	520000	304	0,1520	0,0007600	29,5046
530	530000	311	0,1555	0,0007775	30,0720
540	540000	318	0,1590	0,0007950	30,6394
550	550000	325	0,1625	0,0008125	31,2068
560	560000	333	0,1665	0,0008325	31,7742
570	570000	339	0,1695	0,0008475	32,3416
580	580000	347	0,1735	0,0008675	32,9090
590	590000	355	0,1775	0,0008875	33,4764
600	600000	362	0,1810	0,0009050	34,0438
610	610000	369	0,1845	0,0009225	34,6112
620	620000	376	0,1880	0,0009400	35,1786
630	630000	385	0,1925	0,0009625	35,7460
640	640000	393	0,1965	0,0009825	36,3134
650	650000	400	0,2000	0,0010000	36,8808
660	660000	408	0,2040	0,0010200	37,4482

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	416	0,2080	0,0010400	38,0156
680	680000	424	0,2120	0,0010600	38,5829
690	690000	432	0,2160	0,0010800	39,1503
700	700000	441	0,2205	0,0011025	39,7177
710	710000	449	0,2245	0,0011225	40,2851
720	720000	456	0,2280	0,0011400	40,8525
730	730000	464	0,2320	0,0011600	41,4199
740	740000	472	0,2360	0,0011800	41,9873
750	750000	481	0,2405	0,0012025	42,5547
760	760000	490	0,2450	0,0012250	43,1221
770	770000	498	0,2490	0,0012450	43,6895
780	780000	506	0,2530	0,0012650	44,2569
790	790000	515	0,2575	0,0012875	44,8243
800	800000	524	0,2620	0,0013100	45,3917
810	810000	533	0,2665	0,0013325	45,9591
820	820000	542	0,2710	0,0013550	46,5265
830	830000	551	0,2755	0,0013775	47,0939
840	840000	560	0,2800	0,0014000	47,6613
850	850000	569	0,2845	0,0014225	48,2287
860	860000	579	0,2895	0,0014475	48,7961
870	870000	589	0,2945	0,0014725	49,3635
880	880000	598	0,2990	0,0014950	49,9309
890	890000	608	0,3040	0,0015200	50,4983
900	900000	618	0,3090	0,0015450	51,0657
910	910000	629	0,3145	0,0015725	51,6331
920	920000	639	0,3195	0,0015975	52,2005
930	930000	649	0,3245	0,0016225	52,7679
940	940000	660	0,3300	0,0016500	53,3353
950	950000	670	0,3350	0,0016750	53,9026
960	960000	681	0,3405	0,0017025	54,4700
970	970000	693	0,3465	0,0017325	55,0374
980	980000	704	0,3520	0,0017600	55,6048
990	990000	716	0,3580	0,0017900	56,1722
1000	1000000	729	0,3645	0,0018225	56,7396
1010	1010000	740	0,3700	0,0018500	57,3070
1020	1020000	752	0,3760	0,0018800	57,8744
1030	1030000	764	0,3820	0,0019100	58,4418
1040	1040000	776	0,3880	0,0019400	59,0092
1050	1050000	790	0,3950	0,0019750	59,5766
1060	1060000	805	0,4025	0,0020125	60,1440

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
1070	1070000	820	0,4100	0,0020500	60,7114
1080	1080000	836	0,4180	0,0020900	61,2788
1090	1090000	853	0,4265	0,0021325	61,8462
1100	1100000	872	0,4360	0,0021800	62,4136
1110	1110000	894	0,4470	0,0022350	62,9810
1120	1120000	924	0,4620	0,0023100	63,5484
1125,3	1125300	962	0,4810	0,0024050	63,8491
1120	1120000	983	0,4915	0,0024575	63,5484
1110	1110000	1008	0,5040	0,0025200	62,9810

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z10 Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z11 Sampel 1

I. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	149,80	mm
Tinggi	302,30	mm
Luas	17624,37	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2320,33	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	63,85	MPa

II. Hasil Pengujian

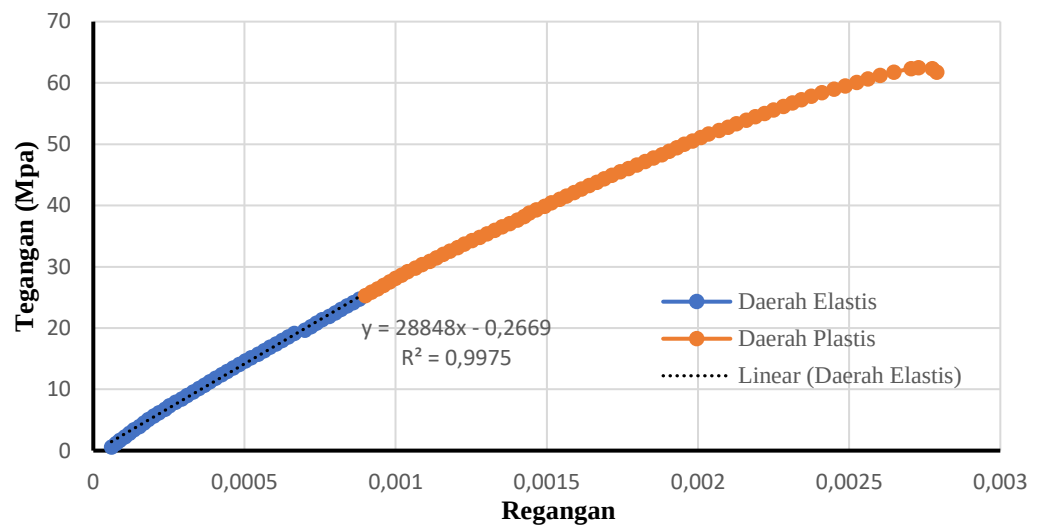
Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,5614
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,1228
30	30000	13	0,0065	0,0000325	1,6842
40	40000	20	0,0100	0,0000500	2,2455
50	50000	26	0,0130	0,0000650	2,8069
60	60000	32	0,0160	0,0000800	3,3683
70	70000	39	0,0195	0,0000975	3,9297
80	80000	45	0,0225	0,0001125	4,4911
90	90000	51	0,0255	0,0001275	5,0525
100	100000	58	0,0290	0,0001450	5,6138
110	110000	65	0,0325	0,0001625	6,1752
120	120000	73	0,0365	0,0001825	6,7366
130	130000	79	0,0395	0,0001975	7,2980
140	140000	87	0,0435	0,0002175	7,8594
150	150000	95	0,0475	0,0002375	8,4208
160	160000	102	0,0510	0,0002550	8,9821
170	170000	110	0,0550	0,0002750	9,5435
180	180000	118	0,0590	0,0002950	10,1049
190	190000	125	0,0625	0,0003125	10,6663
200	200000	132	0,0660	0,0003300	11,2277
210	210000	140	0,0700	0,0003500	11,7891
220	220000	148	0,0740	0,0003700	12,3505
230	230000	155	0,0775	0,0003875	12,9118
240	240000	163	0,0815	0,0004075	13,4732
250	250000	171	0,0855	0,0004275	14,0346
260	260000	179	0,0895	0,0004475	14,5960

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	187	0,0935	0,0004675	15,1574
280	280000	196	0,0980	0,0004900	15,7188
290	290000	204	0,1020	0,0005100	16,2801
300	300000	212	0,1060	0,0005300	16,8415
310	310000	220	0,1100	0,0005500	17,4029
320	320000	228	0,1140	0,0005700	17,9643
330	330000	236	0,1180	0,0005900	18,5257
340	340000	244	0,1220	0,0006100	19,0871
350	350000	258	0,1290	0,0006450	19,6484
360	360000	266	0,1330	0,0006650	20,2098
370	370000	273	0,1365	0,0006825	20,7712
380	380000	281	0,1405	0,0007025	21,3326
390	390000	290	0,1450	0,0007250	21,8940
400	400000	298	0,1490	0,0007450	22,4554
410	410000	306	0,1530	0,0007650	23,0168
420	420000	314	0,1570	0,0007850	23,5781
430	430000	322	0,1610	0,0008050	24,1395
440	440000	330	0,1650	0,0008250	24,7009
450	450000	338	0,1690	0,0008450	25,2623
460	460000	346	0,1730	0,0008650	25,8237
470	470000	354	0,1770	0,0008850	26,3851
480	480000	362	0,1810	0,0009050	26,9464
490	490000	370	0,1850	0,0009250	27,5078
500	500000	378	0,1890	0,0009450	28,0692
510	510000	386	0,1930	0,0009650	28,6306
520	520000	394	0,1970	0,0009850	29,1920
530	530000	404	0,2020	0,0010100	29,7534
540	540000	413	0,2065	0,0010325	30,3147
550	550000	423	0,2115	0,0010575	30,8761
560	560000	432	0,2160	0,0010800	31,4375
570	570000	441	0,2205	0,0011025	31,9989
580	580000	450	0,2250	0,0011250	32,5603
590	590000	460	0,2300	0,0011500	33,1217
600	600000	469	0,2345	0,0011725	33,6831
610	610000	479	0,2395	0,0011975	34,2444
620	620000	489	0,2445	0,0012225	34,8058
630	630000	499	0,2495	0,0012475	35,3672
640	640000	509	0,2545	0,0012725	35,9286
650	650000	519	0,2595	0,0012975	36,4900
660	660000	529	0,2645	0,0013225	37,0514

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
670	670000	539	0,2695	0,0013475	37,6127
680	680000	548	0,2740	0,0013700	38,1741
690	690000	555	0,2775	0,0013875	38,7355
700	700000	564	0,2820	0,0014100	39,2969
710	710000	575	0,2875	0,0014375	39,8583
720	720000	584	0,2920	0,0014600	40,4197
730	730000	595	0,2975	0,0014875	40,9810
740	740000	604	0,3020	0,0015100	41,5424
750	750000	614	0,3070	0,0015350	42,1038
760	760000	624	0,3120	0,0015600	42,6652
770	770000	634	0,3170	0,0015850	43,2266
780	780000	644	0,3220	0,0016100	43,7880
790	790000	654	0,3270	0,0016350	44,3494
800	800000	664	0,3320	0,0016600	44,9107
810	810000	675	0,3375	0,0016875	45,4721
820	820000	686	0,3430	0,0017150	46,0335
830	830000	697	0,3485	0,0017425	46,5949
840	840000	708	0,3540	0,0017700	47,1563
850	850000	719	0,3595	0,0017975	47,7177
860	860000	730	0,3650	0,0018250	48,2790
870	870000	740	0,3700	0,0018500	48,8404
880	880000	750	0,3750	0,0018750	49,4018
890	890000	760	0,3800	0,0019000	49,9632
900	900000	771	0,3855	0,0019275	50,5246
910	910000	782	0,3910	0,0019550	51,0860
920	920000	792	0,3960	0,0019800	51,6473
930	930000	806	0,4030	0,0020150	52,2087
940	940000	818	0,4090	0,0020450	52,7701
950	950000	829	0,4145	0,0020725	53,3315
960	960000	842	0,4210	0,0021050	53,8929
970	970000	854	0,4270	0,0021350	54,4543
980	980000	866	0,4330	0,0021650	55,0157
990	990000	878	0,4390	0,0021950	55,5770
1000	1000000	891	0,4455	0,0022275	56,1384
1010	1010000	903	0,4515	0,0022575	56,6998
1020	1020000	915	0,4575	0,0022875	57,2612
1030	1030000	928	0,4640	0,0023200	57,8226
1040	1040000	942	0,4710	0,0023550	58,3840
1050	1050000	958	0,4790	0,0023950	58,9453
1060	1060000	973	0,4865	0,0024325	59,5067

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
1070	1070000	988	0,4940	0,0024700	60,0681
1080	1080000	1003	0,5015	0,0025075	60,6295
1090	1090000	1019	0,5095	0,0025475	61,1909
1100	1100000	1037	0,5185	0,0025925	61,7523
1110	1110000	1060	0,5300	0,0026500	62,3136
1112,3	1112300	1070	0,5350	0,0026750	62,4428
1110	1110000	1088	0,5440	0,0027200	62,3136
1100	1100000	1094	0,5470	0,0027350	61,7523

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z11 Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z11 Sampel 2

I. Data Benda Uji

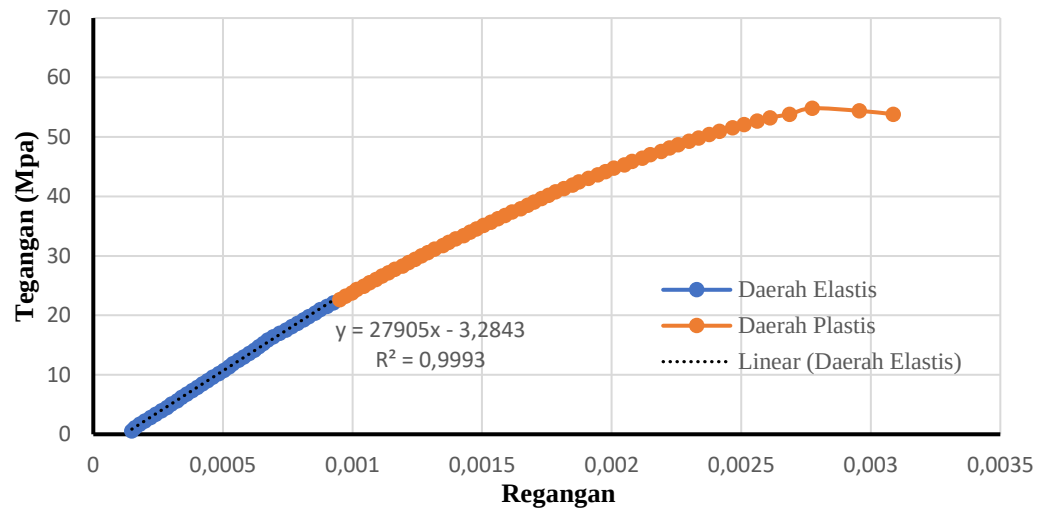
Umur Uji	28	Hari
Diameter	149,90	mm
Tinggi	303,60	mm
Luas	17647,90	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2364,36	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	54,83	MPa

II. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,5666
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,1333
30	30000	17	0,0085	0,0000425	1,6999
40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,2666
50	50000	34	0,0170	0,0000850	2,8332
60	60000	42	0,0210	0,0001050	3,3998
70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,9665
80	80000	59	0,0295	0,0001475	4,5331
90	90000	66	0,0330	0,0001650	5,0998
100	100000	75	0,0375	0,0001875	5,6664
110	110000	82	0,0410	0,0002050	6,2330
120	120000	90	0,0450	0,0002250	6,7997
130	130000	98	0,0490	0,0002450	7,3663
140	140000	106	0,0530	0,0002650	7,9330
150	150000	114	0,0570	0,0002850	8,4996
160	160000	122	0,0610	0,0003050	9,0662
170	170000	130	0,0650	0,0003250	9,6329
180	180000	139	0,0695	0,0003475	10,1995
190	190000	147	0,0735	0,0003675	10,7662
200	200000	155	0,0775	0,0003875	11,3328
210	210000	161	0,0805	0,0004025	11,8994
220	220000	170	0,0850	0,0004250	12,4661
230	230000	178	0,0890	0,0004450	13,0327
240	240000	186	0,0930	0,0004650	13,5993
250	250000	194	0,0970	0,0004850	14,1660
260	260000	201	0,1005	0,0005025	14,7326

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	208	0,1040	0,0005200	15,2993
280	280000	215	0,1075	0,0005375	15,8659
290	290000	223	0,1115	0,0005575	16,4325
300	300000	233	0,1165	0,0005825	16,9992
310	310000	243	0,1215	0,0006075	17,5658
320	320000	252	0,1260	0,0006300	18,1325
330	330000	261	0,1305	0,0006525	18,6991
340	340000	270	0,1350	0,0006750	19,2657
350	350000	278	0,1390	0,0006950	19,8324
360	360000	288	0,1440	0,0007200	20,3990
370	370000	296	0,1480	0,0007400	20,9657
380	380000	306	0,1530	0,0007650	21,5323
390	390000	316	0,1580	0,0007900	22,0989
400	400000	326	0,1630	0,0008150	22,6656
410	410000	335	0,1675	0,0008375	23,2322
420	420000	345	0,1725	0,0008625	23,7989
430	430000	352	0,1760	0,0008800	24,3655
440	440000	363	0,1815	0,0009075	24,9321
450	450000	372	0,1860	0,0009300	25,4988
460	460000	382	0,1910	0,0009550	26,0654
470	470000	391	0,1955	0,0009775	26,6321
480	480000	401	0,2005	0,0010025	27,1987
490	490000	411	0,2055	0,0010275	27,7653
500	500000	423	0,2115	0,0010575	28,3320
510	510000	432	0,2160	0,0010800	28,8986
520	520000	442	0,2210	0,0011050	29,4653
530	530000	452	0,2260	0,0011300	30,0319
540	540000	462	0,2310	0,0011550	30,5985
550	550000	472	0,2360	0,0011800	31,1652
560	560000	485	0,2425	0,0012125	31,7318
570	570000	494	0,2470	0,0012350	32,2985
580	580000	505	0,2525	0,0012625	32,8651
590	590000	517	0,2585	0,0012925	33,4317
600	600000	527	0,2635	0,0013175	33,9984
610	610000	537	0,2685	0,0013425	34,5650
620	620000	548	0,2740	0,0013700	35,1316
630	630000	559	0,2795	0,0013975	35,6983
640	640000	570	0,2850	0,0014250	36,2649
650	650000	581	0,2905	0,0014525	36,8316
660	660000	592	0,2960	0,0014800	37,3982

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	208	0,1040	0,0005200	15,2993
670	670000	605	0,3025	0,0015125	37,9648
680	680000	616	0,3080	0,0015400	38,5315
690	690000	626	0,3130	0,0015650	39,0981
700	700000	637	0,3185	0,0015925	39,6648
710	710000	648	0,3240	0,0016200	40,2314
720	720000	659	0,3295	0,0016475	40,7980
730	730000	672	0,3360	0,0016800	41,3647
740	740000	685	0,3425	0,0017125	41,9313
750	750000	695	0,3475	0,0017375	42,4980
760	760000	710	0,3550	0,0017750	43,0646
770	770000	724	0,3620	0,0018100	43,6312
780	780000	736	0,3680	0,0018400	44,1979
790	790000	749	0,3745	0,0018725	44,7645
800	800000	765	0,3825	0,0019125	45,3312
810	810000	777	0,3885	0,0019425	45,8978
820	820000	793	0,3965	0,0019825	46,4644
830	830000	805	0,4025	0,0020125	47,0311
840	840000	822	0,4110	0,0020550	47,5977
850	850000	835	0,4175	0,0020875	48,1644
860	860000	848	0,4240	0,0021200	48,7310
870	870000	865	0,4325	0,0021625	49,2976
880	880000	880	0,4400	0,0022000	49,8643
890	890000	896	0,4480	0,0022400	50,4309
900	900000	912	0,4560	0,0022800	50,9976
910	910000	932	0,4660	0,0023300	51,5642
920	920000	950	0,4750	0,0023750	52,1308
930	930000	970	0,4850	0,0024250	52,6975
940	940000	990	0,4950	0,0024750	53,2641
950	950000	1020	0,5100	0,0025500	53,8308
967,6	967600	1055	0,5275	0,0026375	54,8280
960	960000	1128	0,5640	0,0028200	54,3974
950	950000	1180	0,5900	0,0029500	53,8308

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z11 Sampel 2

Modulus Elastisitas Beton SCC Benda Uji Z11 Sampel 3

III. Data Benda Uji

Umur Uji	28	Hari
Diameter	150,40	mm
Tinggi	301,90	mm
Luas	17765,83	mm ²
Lo	200,00	mm
Mutu Rencana	45,00	MPa
Berat Volume	2411,67	Kg/m ³
Mutu Hasil Uji	37,27	MPa

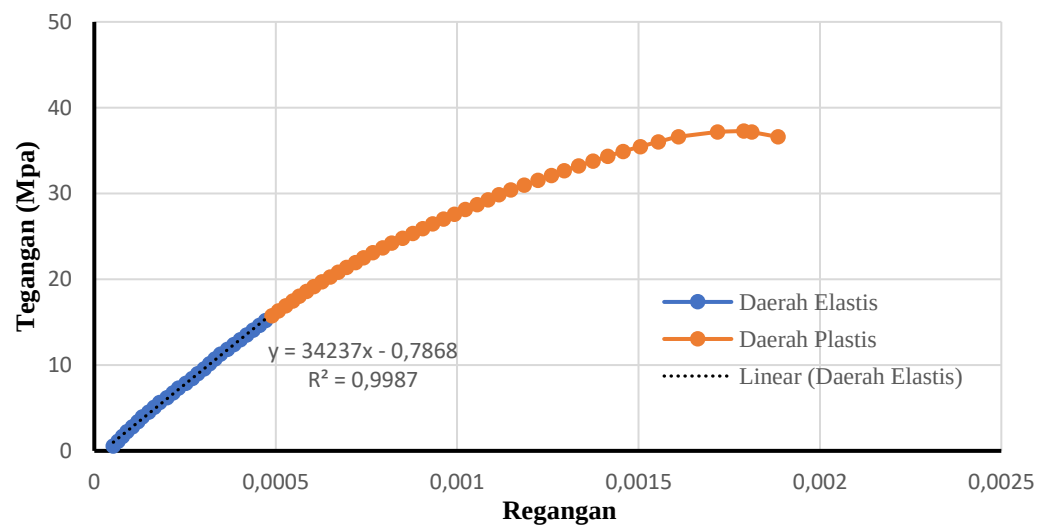
IV. Hasil Pengujian

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
10	10000	0	0,0000	0,0000000	0,5629
20	20000	5	0,0025	0,0000125	1,1258
30	30000	10	0,0050	0,0000250	1,6886
40	40000	15	0,0075	0,0000375	2,2515
50	50000	21	0,0105	0,0000525	2,8144
60	60000	27	0,0135	0,0000675	3,3773
70	70000	32	0,0160	0,0000800	3,9401
80	80000	39	0,0195	0,0000975	4,5030
90	90000	45	0,0225	0,0001125	5,0659
100	100000	51	0,0255	0,0001275	5,6288
110	110000	59	0,0295	0,0001475	6,1917
120	120000	66	0,0330	0,0001650	6,7545
130	130000	72	0,0360	0,0001800	7,3174
140	140000	80	0,0400	0,0002000	7,8803
150	150000	87	0,0435	0,0002175	8,4432
160	160000	93	0,0465	0,0002325	9,0061
170	170000	100	0,0500	0,0002500	9,5689
180	180000	106	0,0530	0,0002650	10,1318
190	190000	112	0,0560	0,0002800	10,6947
200	200000	118	0,0590	0,0002950	11,2576
210	210000	126	0,0630	0,0003150	11,8204
220	220000	133	0,0665	0,0003325	12,3833
230	230000	140	0,0700	0,0003500	12,9462
240	240000	147	0,0735	0,0003675	13,5091
250	250000	154	0,0770	0,0003850	14,0720
260	260000	161	0,0805	0,0004025	14,6348

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
270	270000	168	0,0840	0,0004200	15,1977
280	280000	175	0,0875	0,0004375	15,7606
290	290000	182	0,0910	0,0004550	16,3235
300	300000	190	0,0950	0,0004750	16,8863
310	310000	198	0,0990	0,0004950	17,4492
320	320000	205	0,1025	0,0005125	18,0121
330	330000	213	0,1065	0,0005325	18,5750
340	340000	221	0,1105	0,0005525	19,1379
350	350000	230	0,1150	0,0005750	19,7007
360	360000	239	0,1195	0,0005975	20,2636
370	370000	248	0,1240	0,0006200	20,8265
380	380000	257	0,1285	0,0006425	21,3894
390	390000	267	0,1335	0,0006675	21,9523
400	400000	276	0,1380	0,0006900	22,5151
410	410000	286	0,1430	0,0007150	23,0780
420	420000	297	0,1485	0,0007425	23,6409
430	430000	307	0,1535	0,0007675	24,2038
440	440000	319	0,1595	0,0007975	24,7666
450	450000	330	0,1650	0,0008250	25,3295
460	460000	341	0,1705	0,0008525	25,8924
470	470000	352	0,1760	0,0008800	26,4553
480	480000	364	0,1820	0,0009100	27,0182
490	490000	376	0,1880	0,0009400	27,5810
500	500000	388	0,1940	0,0009700	28,1439
510	510000	401	0,2005	0,0010025	28,7068
520	520000	413	0,2065	0,0010325	29,2697
530	530000	425	0,2125	0,0010625	29,8325
540	540000	438	0,2190	0,0010950	30,3954
550	550000	453	0,2265	0,0011325	30,9583
560	560000	468	0,2340	0,0011700	31,5212
570	570000	483	0,2415	0,0012075	32,0841
580	580000	497	0,2485	0,0012425	32,6469
590	590000	513	0,2565	0,0012825	33,2098
600	600000	529	0,2645	0,0013225	33,7727
610	610000	545	0,2725	0,0013625	34,3356
620	620000	562	0,2810	0,0014050	34,8984
630	630000	581	0,2905	0,0014525	35,4613
640	640000	601	0,3005	0,0015025	36,0242
650	650000	623	0,3115	0,0015575	36,5871
660	660000	666	0,3330	0,0016650	37,1500

Beban		Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Regangan ($\Delta L/L_0$)	Tegangan (Mpa)
(kN)	(N)				
662,1	662100	695	0,3475	0,0017375	37,2682
660	660000	704	0,3520	0,0017600	37,1500
650	650000	733	0,3665	0,0018325	36,5871

Grafik Modulus Elastisitas Benda Uji Z11 Sampel 3



Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian



Gambar Lampiran 5.1 Mesin Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas



Gambar Lampiran 5.2 Mesin Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar Lampiran 5.3 Mesin Pengujian Kuat Tekan



Gambar Lampiran 5.4 Pengujian *Slump-flow*



Gambar Lampiran 5.5 Pengujian V-funnel



Gambar Lampiran 5.6 Benda Uji



Gambar Lampiran 5.7 Pengujian Kuat Tarik



Gambar Lampiran 5.8 Pengujian Kuat Tekan dan Alat Kompresometer