

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS, DAN ABSORPSI BETON DENGAN PENGGUNAAN SERBUK MARMER SEBAGAI *FILLER* (*CHARACTERISTICS OF COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY, AND ABSORPTION OF CONCRETE WITH THE USE OF MARBLE POWDER AS FILLER*)

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



**Dody Gunawan
19511102**

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

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS, DAN ABSORPSI BETON DENGAN PENGGUNAAN SERBUK MARMER SEBAGAI *FILLER* (*CHARACTERISTICS OF COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY, AND ABSORPTION OF CONCRETE WITH THE USE OF MARBLE POWDER AS FILLER*)


Disusun oleh

Dody Gunawan
19511102

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjan Teknik Sipil
Diuji pada tanggal 25 Maret 2024


Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing

 22.04.24.

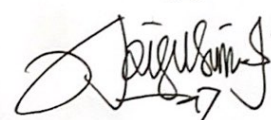
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng
NIK: 165111301

Penguji I

 22/24
/4

Malik Mustofa, S.T., M.Eng
NIK: 185111302

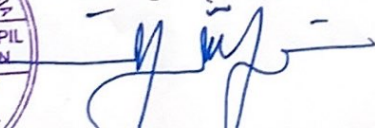
Penguji II

 22/2024
/4

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 23/2024
/4
Ir. Yunalia Muntali, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

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, 20 Maret 2024
Yang membuat pernyataan,



Dody Gunawan
(19511102)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat dalam studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa berbagai kesulitan dan tantangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak dapat dilewati tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan hingga proses penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, nasihat, serta dukungan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Malik Mustofa, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir.
4. Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten, dan karyawan Teknik Sipil yang telah memberikan banyak ilmu dan memberikan fasilitas selama kegiatan belajar penulis.
6. Abah Taryono dan Mamah Sri Waeni selaku kedua orang tua penulis. Terima kasih atas doa, kasih sayang, dukungan batin maupun materi, dan bantuan yang tak ternilai lainnya yang Abah dan Mamah berikan selama ini kepada penulis hingga bisa mencapai titik ini. Semoga Abah dan

Mamah selalu sehat, bahagia, dan bersama selamanya.

7. Santi Cahya Ningsih selaku kakak kandung penulis. Terima kasih atas canda, tawa, dukungan, dan motivasi yang telah diberikan hingga saat ini, semoga selalu diberikan kebahagiaan dan kesuksesan dalam kehidupan.
8. Hasnaa Anggia Agustina dan M. Alwan Dwi Widodo selaku sahabat terbaik penulis pada masa perkuliahan yang selalu memberikan dukungan tanpa henti. Terima kasih telah memberikan semangat dan motivasi.
9. Rekan-rekan HAHA-HIHI, Hasna, Tari, Andien. Terima kasih telah menjadi penghibur, pendengar yang baik, dan selalu memberikan dukungan moral dan bantuan kepada penulis selama menjalani sulitnya masa perkuliahan. Semoga kita selalu diberikan kesuksesan dalam kehidupan pasca kuliah.
10. Nathania Nastiti Nur Utari, Alya Kamila Siregar, Awliya selaku sahabat dan penasihat terbaik bagi penulis semasa perkuliahan. Terima kasih telah memberikan semangat dan nasehat, termasuk nasehat dalam kisah cinta penulis semasa perkuliahan. Terima kasih selalu membantu penulis untuk bangkit dan menjadi pribadi yang lebih baik.
11. Agista Harisma dan Rizky Akhfa Nazifa selaku sahabat dan penasihat bagi penulis. Terima kasih telah menjadi tempat keluh kesah dan selalu menjadi sumber keceriaan.
12. Alviardy, Alwan, Faruq, Gildan, Bima, Sallya. Terima kasih telah menjadi sahabat semasa perkuliahan. Semoga kita selalu diberikan kebahagiaan dan kesuksesan.
13. Rekan-rekan BABAYO, Alif, Reza, Faraz, Bayu, Fajri. Terima kasih telah membantu proses penyusunan Tugas Akhir. Terima kasih telah menjadi penghibur dan penasihat yang baik bagi penulis.
14. Rekan-rekan PESBUKERS, Balqis, Aidah, Tari, Alya, Galdy. Terima kasih telah menjadi sahabat lintas fakultas. Terima kasih telah memberikan dukungan serta pengalaman yang menyenangkan selama masa perkuliahan.
15. Rekan-rekan Teknik Sipil 2019. Terima kasih telah membuat hari-hari

penulis dalam menjalani perkuliahan di Teknik Sipil UII lebih menyenangkan. Terima kasih atas bantuan yang diberikan kepada penulis dalam hal akademis maupun non-akademis semasa perkuliahan.

16. Rekan-rekan LEM FTSP UII 2021/2022, terutama pengurus inti dan kabid serta staf Medin. Terima kasih telah memberikan kesan dan pengalaman terbaik untuk penulis dalam kegiatan non-akademis selama masa perkuliahan di FTSP UII.
17. Dennis, Sheila, Caca, Rifqi, Aldi, Daffa, Aziz, Ersya, Dwi, Luna, Firda dan rekan-rekan semasa SMA penulis lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih sudah menjadi tempat bertukar cerita dan penghibur penulis selama menjalani perkuliahan.
18. Seluruh pihak yang tidak disebutkan satu persatu secara detail yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
19. Terakhir, terima kasih kepada diri saya sendiri karena tidak menyerah dan tetap berjuang dalam keadaan apa pun. Terima kasih sudah berusaha keras dan tetap sabar dalam menghadapi berbagai rintangan dan cobaan. Terima kasih sudah kuat dan bertahan hingga saat ini.

Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala membalas segala kebaikan yang telah diberikan. Saya menyadari Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, untuk itu saya memohon maaf dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 20 Januari 2024

Penulis,

Dody gunawan

(19511102)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK.....	xix
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Umum.....	6
2.2 Penelitian Terdahulu.....	6

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian saat ini	9
BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Beton.....	12
3.2 Material Penyusun Beton.....	13
3.2.1 Semen.....	13
3.2.2 Air.....	14
3.2.3 Agregat.....	16
3.3 Serbuk Marmer	18
3.4 Perencanaan Campuran Beton.....	19
3.5 Kuat Tekan.....	29
3.6 Modulus Elastisitas.....	30
3.7 Absorpsi.....	32
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	34
4.1 Umum.....	34
4.2 Variabel Penelitian	34
4.3 Bahan yang Digunakan.....	34
4.4 Alat yang Digunakan	35
4.5 Benda Uji.....	37
4.6 Pelaksanaan Penelitian	38
4.6.1 Persiapan.....	38
4.6.2 Pengujian Agregat	38
4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	38
4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> Umur 7 Hari.....	39
4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	39
4.6.6 Pengujian Benda Uji.....	39

4.6.7 Pengolahan Data.....	41
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN	44
5.1 Umum.....	44
5.2 Hasil Pengujian Agregat.....	44
5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	44
5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	52
5.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	59
5.4 Hasil Pengujian Benda Uji <i>Trial</i>	69
5.5 Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	70
5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	72
5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	76
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	90
6.1 Kesimpulan.....	90
6.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	10
Tabel 3. 1	Nilai Batas Maksimum Ion Chlorida	15
Tabel 3. 2	Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Jika Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30	20
Tabel 3. 3	Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	21
Tabel 3. 4	Ketentuan Minimum untuk Beton Bertulang Dalam Air	23
Tabel 3. 5	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	24
Tabel 3. 6	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum Pada Berbagai Jenis Pembebanan	25
Tabel 5. 1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	45
Tabel 5. 2	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	47
Tabel 5. 3	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	47
Tabel 5. 4	Gradasi Agregat Halus	48
Tabel 5. 5	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	51
Tabel 5. 6	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	51
Tabel 5. 7	Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	52
Tabel 5. 8	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	53
Tabel 5. 9	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	55
Tabel 5. 10	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	55
Tabel 5. 11	Gradasi Agregat Kasar	56
Tabel 5. 12	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	59
Tabel 5. 13	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	59
Tabel 5. 14	Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang Dipakai di Indonesia	60
Tabel 5. 15	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk	

Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	62
Tabel 5. 16 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus	62
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	67
Tabel 5. 18 Proporsi Campuran Beton Sillinder dengan Bahan Tambah Serbuk Marmer	69
Tabel 5. 19 Proporsi Campuran Beton Kubus dengan Bahan Tambah Serbuk Marmer	69
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Uji Trial 7 Hari	70
Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Nilai Slump	71
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	73
Tabel 5. 23 Persentase Selisih Kenaikan Kuat tekan Beton	76
Tabel 5. 24 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Kadar Serbuk Marmer 0%	78
Tabel 5. 25 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas Beton	82
Tabel 5. 26 Hasil Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton	84
Tabel 5. 27 Hasil Rekapitulasi Pengujian Absorpsi Beton	86
Tabel 5. 28 Persentase Selisih Kenaikan Kuat Tekan Beton	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	22
Gambar 3. 2	Cetakan untuk Uji Slump (Kerucut Abram)	23
Gambar 3. 3	Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm	26
Gambar 3. 4	Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	26
Gambar 3. 5	Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm	27
Gambar 3. 6	Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Sudah Selesai Didapatkan	28
Gambar 3. 7	Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Silinder	30
Gambar 4. 1	Rincian Benda Uji	37
Gambar 4. 2	Flowchart Alur Penelitian	43
Gambar 5. 1	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	49
Gambar 5. 2	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	49
Gambar 5. 3	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	57
Gambar 5. 4	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	57
Gambar 5. 5	Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS)	61
Gambar 5. 6	Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Butir Maksimum 20 mm	64
Gambar 5. 7	Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	65
Gambar 5. 8	Grafik Pengujian Nilai Slump	71
Gambar 5. 9	Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Tiap Kadar Serbuk Marmer	75
Gambar 5. 10	Grafik Tegangan dan Regangan Kadar Filler Serbuk Marmer 0% Sampel 1	80
Gambar 5. 11	Grafik Modulus Elastisitas Beton	84
Gambar 5. 12	Grafik Absorpsi Beton	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium	95
Lampiran 2 Gambar Alat yang digunakan	96
Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Material	110
Lampiran 4 Hasil Campuran Beton dengan Serbuk Marmer Setiap Variasi	118
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Beton	121
Gambar L-2. 1 Timbangan	96
Gambar L-2. 2 Oven	96
Gambar L-2. 3 Saringan Agregat Halus dan Saringan Agregat Kasar	97
Gambar L-2. 4 Piknometer	97
Gambar L-2. 5 Pan	98
Gambar L-2. 6 Kerucut Abram	98
Gambar L-2. 7 Kuas	99
Gambar L-2. 8 Cetakan Silinder dan Cetakan Kubus	100
Gambar L-2. 9 Cetakan Silinder dan Cetakan Kubus	101
Gambar L-2. 10 Mesin Kuat Tekan Beton	101
Gambar L-2. 11 Semen Portland Tipe I Merk Gresik	102
Gambar L-2. 12 Agregat Kasar	102
Gambar L-2. 13 Agregat Halus	103
Gambar L-2. 14 Limbah Marmer	103
Gambar L-2. 15 Persiapan Alat dan Bahan	104
Gambar L-2. 16 Proses Pembuatan Campuran Beton	104
Gambar L-2. 17 Proses Pengujian Nilai Slump	105
Gambar L-2. 18 Proses Penuangan Campuran Beton Kedalam Cetakan	106
Gambar L-2. 19 Proses Pengerasan Campuran Beton	107
Gambar L-2. 20 Proses Perendaman / Perawatan Benda Uji	108
Gambar L-2. 21 Proses Capping Benda Uji	109
Gambar L-2. 22 Proses Pengujian Benda Uji	110

Gambar L-3. 1	Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I	111
Gambar L-3. 2	Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II	113
Gambar L-3. 3	Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel I	114
Gambar L-3. 4	Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel II	115
Gambar L-5. 1	Grafik Nilai Slump	121
Gambar L-5. 2	Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 1	125
Gambar L-5. 3	Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 2	128
Gambar L-5. 4	Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 3	131
Gambar L-5. 5	Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 4	134
Gambar L-5. 6	Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 3	137
Gambar L-5. 7	Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 1	140
Gambar L-5. 8	Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 1	143
Gambar L-5. 9	Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 3	146
Gambar L-5. 10	Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 4	149
Gambar L-5. 11	Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 5	152
Gambar L-5. 12	Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 1	155
Gambar L-5. 13	Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 2	158
Gambar L-5. 14	Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 3	161
Gambar L-5. 15	Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 4	164
Gambar L-5. 16	Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 5	167
Gambar L-5. 17	Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 1	170
Gambar L-5. 18	Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 2	173
Gambar L-5. 19	Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 3	176
Gambar L-5. 20	Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 4	179
Gambar L-5. 21	Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 5	182
Gambar L-5. 22	Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 1	185
Gambar L-5. 23	Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 2	188
Gambar L-5. 24	Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 3	191
Gambar L-5. 25	Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 4	194
Gambar L-5. 26	Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 5	197
Gambar L-5. 27	Kurva Perbandingan Masing-Masing Persamaan	199

Gambar L-5. 28	Grafik Uji Absorpsi	200
Tabel L-3. 1	Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Halus	110
Tabel L-3. 2	Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	110
Tabel L-3. 3	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel I	111
Tabel L-3. 4	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel II	113
Tabel L-3. 5	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar Sampel I	114
Tabel L-3. 6	Hasil Pengujian Modulus Halus Agregat Halus Sampel II	115
Tabel L-3. 7	Hasil Berat Volume Gembur Agregat Halus	116
Tabel L-3. 8	Hasil Berat Volume Padat Agregat Halus	116
Tabel L-3. 9	Hasil Berat Volume Gembur Agregat Kasar	117
Tabel L-3. 10	Hasil Berat Volume Padat Agregat Kasar	117
Tabel L-3. 11	Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Agregat Halus	117
Tabel L-4. 1	Hasil Campuran Beton dengan Persentase Marmer Silinder	118
Tabel L-4. 2	Hasil Campuran Beton dengan Persentase Marmer Kubus	119
Tabel L-4. 3	Rekapitulasi Hasil Mix Design	120
Tabel L-5. 1	Pengujian Slump	121
Tabel L-5. 2	Pengujian Kuat Tekan Beton	122
Tabel L-5. 3	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 1	123
Tabel L-5. 4	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 2	126
Tabel L-5. 5	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 3	129
Tabel L-5. 6	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 4	132
Tabel L-5. 7	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 3	135
Tabel L-5. 8	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 1	138
Tabel L-5. 9	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 2	141
Tabel L-5. 10	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 3	144
Tabel L-5. 11	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 4	147
Tabel L-5. 12	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 5	150
Tabel L-5. 13	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 1	153
Tabel L-5. 14	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 2	156
Tabel L-5. 15	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 3	159
Tabel L-5. 16	Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 4	162

Tabel L-5. 17 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 5	165
Tabel L-5. 18 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 1	168
Tabel L-5. 19 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 2	171
Tabel L-5. 20 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 3	174
Tabel L-5. 21 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 4	177
Tabel L-5. 22 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 5	180
Tabel L-5. 23 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 1	183
Tabel L-5. 24 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 2	186
Tabel L-5. 25 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 3	189
Tabel L-5. 26 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 4	192
Tabel L-5. 27 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 5	195
Tabel L-5. 28 Hasil Rekapitulasi Uji Modulus Elastisitas	198
Tabel L-5. 29 Hasil Rekapitulasi Uji Absorpsi	200

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	= American Society of Testing and Materials
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= Saturated Surface-Dry
MPa	= Megapascal
PCC	= Portland Composit Cement
MHB	= Modulus Halus Butir
FAS	= Faktor Air Semen
Wh	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Halus
Wk	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Kasar
Wc	= Berat Isi Beton (kg/m ³)
M	= Nilai Tambah (MPa)
f _c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f _{cr}	= Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan (MPa)
BJgab	= Berat jenis gabungan agregat
BJAg. Halus	= Berat jenis agregat halus
BJAg. Kasar	= Berat jenis agregat kasar
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm ²)
k	= Faktor Pengali Deviasi Standar
%AH	= Persentase Agregat Halus
%AK	= Persentase Agregat Kasar
σ	= Tegangan (N/mm ²)
ϵ	= Regangan
ϵ_2	= Regangan Longitudinal yang dihasilkan pada saat S ₂

- Ec = Modulus Elastisitas (MPa)
S2 = Tegangan saat 40% dari Beban Maksimum (MPa)
S1 = Tegangan pada saat Regangan Longitudinal, $\epsilon_1 = 0,00005$ (MPa)

ABSTRAK

Peningkatan pembangunan konstruksi tidak terlepas dari peningkatan kebutuhan terhadap bahan bangunan. Salah satunya yaitu marmer. Marmer merupakan salah satu material bangunan yang biasa digunakan sebagai elemen dekoratif. Namun pada proses pengolahannya akan menghasilkan limbah yang berupa serbuk atau tepung marmer. Apabila limbah tersebut dibiarkan dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi lingkungan. Pemanfaatan serbuk marmer sebagai *filler* dapat dilakukan untuk mengurangi permasalahan di atas.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan serbuk marmer yang dijadikan sebagai filler dengan variasi penambahan sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Pada penelitian ini mutu beton yang digunakan sebesar 30 MPa dengan perawatan beton selama 28 hari. Perencanaan campuran penelitian ini mengacu pada SNI 03-2843-2000. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui karakteristik beton dengan penambahan serbuk marmer terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan serbuk marmer dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% yang dijadikan filler dapat meningkatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan absorpsi beton. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan filler serbuk marmer secara berturut-turut sebesar 30,48 MPa, 30,89 MPa, 31,80 MPa, 32,51 MPa, dan 31,60 MPa. Pada pengujian modulus elastisitas dengan penambahan filler serbuk marmer secara berturut-turut sebesar 24847,9 MPa, 25141,1 MPa, 25375,3 MPa, 25748,9 MPa, 25523,6 MPa. Pada pengujian absorpsi beton dengan penambahan filler serbuk marmer secara berturut-turut sebesar 1,6009%, 1,6659%, 1,7483%, 1,7914%, 2,0675%.

Kata Kunci: Serbuk Marmer, *Filler*, Karakteristik Beton.

ABSTRACT

The increase in construction development cannot be separated from the increase in demand for building materials. One of them is marble. Marble is a building material that is usually used as a decorative element. However, the processing process will produce waste in the form of marble powder or flour. If this waste is left untreated it can have a bad impact on the environment. Utilizing marble powder as a filler can be done to reduce the above problems.

This research was carried out using marble powder which was used as a filler with varying additions of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the cement weight. In this study, the quality of concrete used was 30 MPa with concrete curing for 28 days. This research mix planning refers to SNI 03-2843-2000. This research was conducted to determine the characteristics of concrete with the addition of marble powder regarding compressive strength, modulus of elasticity and absorption.

The results of the research show that the addition of marble powder with variations of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% as filler can increase the compressive strength, modulus of elasticity and absorption of concrete. The results of testing the compressive strength of concrete with the addition of marble powder filler were respectively 30.48 MPa, 30.89 MPa, 31.80 MPa, 32.51 MPa and 31.60 MPa. In testing the modulus of elasticity with the addition of marble powder filler respectively it was 24847.9 MPa, 25141.1 MPa, 25375.3 MPa, 25748.9 MPa, 25523.6 MPa. In the concrete absorption test with the addition of marble powder filler respectively it was 1.6009%, 1.6659%, 1.7483%, 1.7914%, 2.0675%.

Keywords: *Marble Powder, Filler, Concrete Characteristics.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini beton merupakan salah satu material konstruksi yang sangat populer jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya; seperti baja dan kayu. Beton juga memiliki beberapa kelebihan contohnya seperti beton memiliki harga yang relatif murah, beton juga mudah untuk dicetak, dibentuk, dan dipindahkan. Selain itu, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan beton mudah dirawat karena memiliki komponen yang awet, tahan aus, serta tahan api. Banyak faktor yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan beton yang ideal, seperti kualitas dari bahan yang dipakai. Selain itu kekuatan beton akan baik apabila pori-pori yang dimiliki beton tersebut terisi sempurna Paul Nugraha & Antoni, (2007).

Peningkatan pembangunan konstruksi juga tidak terlepas dari peningkatan kebutuhan terhadap bahan bangunan. Salah satunya yaitu marmer. Marmer merupakan salah satu material bangunan yang biasa digunakan sebagai elemen dekoratif. Namun pada proses pengolahannya akan menghasilkan limbah yang berupa serbuk atau tepung marmer. Apabila limbah tersebut dibiarkan dapat menyebabkan dampak yang buruk bagi lingkungan, contohnya seperti, dapat mempengaruhi kesuburan tanah pada daerah sekitar, dan dapat menyebabkan gangguan pernafasan. Pemanfaatan serbuk marmer sebagai *filler* dapat dilakukan untuk mengurangi permasalahan di atas.

Terdapat beberapa penelitian yang menyebutkan bahwa dengan adanya penggunaan serbuk marmer yang dijadikan sebagai *filler* dapat meningkatkan sifat mekanik yang dimiliki beton. Penelitian yang dilakukan Yunan (2015) mengatakan dengan adanya penambahan limbah marmer pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan dan mencapai nilai maksimum pada persentase 5% dari beton normal. Adapun hasil penelitian yang dilakukan Widodo dkk.

(2018) menunjukkan penambahan tepung marmer ke dalam campuran beton normal masih dapat meningkatkan kekuatan dan nilai kuat tekan maksimal terdapat pada variasi 15% . Penelitian yang dilakukan Agustina Dita Lestari (2021) juga menjelaskan bahwa hasil dari penelitiannya kuat tekan beton mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton yang tidak menggunakan pecahan marmer. Penelitian yang dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Irfansyah, Rakhmawati, dan Arnandha (2021) juga menjelaskan bahwa penambahan campuran limbah marmer dan *superplasticizer* pada beton SCC berpengaruh terhadap kenaikan laju kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase limbah marmer. Berdasarkan penjelasan diatas, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan limbah marmer sebagai *filler* dapat meningkatkan kuat tekan beton. Bahan tambah limbah marmer dengan ukuran yang kecil dapat mengisi *void* yang terdapat pada beton, sehingga beton tersebut menjadi semakin padat dan kompak.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh serbuk marmer sebagai *filler* terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi beton. Penggunaan serbuk marmer apabila digunakan sebagai *filler* juga salah satu alternatif positif karena terjadi proses pemanfaatan, karena serbuk marmer yang awalnya tidak berguna dapat dimanfaatkan menjadi bahan yang bernilai guna. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar serbuk marmer sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% yang diambil dari berat semen. Penelitian ini menggunakan mutu beton rencana sebesar 30 MPa dengan perawatan beton 28 hari.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap modulus elastisitas beton?

3. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap absorpsi beton?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap modulus elastisitas beton.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* terhadap absorpsi beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai kegunaan serbuk marmer dalam sifat mekanik yang dimiliki beton.
2. Dapat mengurangi limbah seperti serbuk marmer dalam masalah pencemaran lingkungan di kemudian hari.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun Batasan pada penelitian yang diperlukan guna penelitian yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan yang ada. Batasan penelitian antara lain sebagai berikut.

1. Mutu beton yang direncanakan ($f'c$) sebesar 30 MPa.
2. Metode perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000.
3. Variasi serbuk marmer yang digunakan sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap berat semen.
4. Serbuk marmer yang digunakan sebagai *filler* berasal dari Solo Marmer Group.
5. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merek semen Gresik.

6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Merapi.
7. Agregat kasar yang digunakan berasal dari sungai Progo.
8. Benda uji berupa Silinder dan Kubus.
9. Cetakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 x 30 cm dan kubus 15 x 15 x 15 cm.
10. Jumlah benda uji sebanyak 40 buah.
11. Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari.
12. Pengujian yang akan dilakukan antara lain sebagai berikut.
 - a) Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970-2016.
 - b) Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-2016.
 - c) Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990.
 - d) Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990.
 - e) Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998.
 - f) Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998.
 - g) Pengujian butiran lolos ayakan no.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) mengacu pada SNI 4142-1996.
 - h) Pengujian butiran lolos ayakan No.200 (untuk pengujian serbuk marmer)
 - i) Pengujian nilai *slump* beton mengacu pada SNI 1972-2008.
 - j) Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974-2011.
 - k) Pengujian modulus elastisitas beton mengacu pada SNI 4169-1966.
 - l) Pengujian absorpsi beton mengacu pada SNI 6433-2016.
13. Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton merupakan campuran antara semen *Portland*, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan bahan tambahan ataupun tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Agregat kasar biasanya berupa bebatuan alami yang dihasilkan dari industri pemecah batu. Sedangkan agregat halus biasanya dapat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Pada campuran beton terdapat banyak modifikasi, seperti bahan serbuk marmer yang dapat dijadikan sebagai bahan alternatif tambahan ataupun pengganti dalam campuran beton. Pasir marmer memiliki karakteristik yang dapat digunakan untuk menggantikan agregat (pasir sungai) pada pembuatan bata beton. Ikatan pasir marmer yang kuat dengan semen menghasilkan batu beton yang memenuhi standar Aditya dkk. (2016).

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah beberapa perbedaan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagaimana yang diuraikan sebagai berikut.

1. Penggunaan Limbah Marmer Sebagai *Filler* Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rusdianto dan Munir (2015). Penelitian ini memiliki tujuan untuk dapat mengetahui penggunaan limbah marmer sebagai *filler* terhadap absorpsi, kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton. Besarnya penambahan limbah marmer yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat agregat halus, dengan kuat tekan rencana sebesar 27 MPa. Perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI

SK.SNI.T-15-1990-03. Hasil dari pengujian kuat tekan yang dilakukan diperoleh sebagai berikut : 0% - 27,246 N/mm², 5% - 28,283 N/mm², 10% - 25,283 N/mm², 15% - 26,209 N/mm², 20% - 24,135 N/mm², 25% - 23,386 N/mm², 30% - 21,684 N/mm². Pada pengujian kuat tekan dapat dilihat nilai kuat termaksimal berada pada variasi penambahan 5%. Hasil dari pengujian absorpsi beton mengalami penurunan beton sebagai berikut : 0% - 0,82, 5% - 0,81, 10% - 0,78, 15% - 0,76, 20% - 0,75, 25% - 0,72, 30% - 0,69. Hasil pada pengujian modulus elastisitas, dapat dilihat bahwa beton dengan limbah marmer mempunyai nilai modulus yang lebih besar dari pada nilai modulus pada beton normal, tetapi hanya pada persentase 30% nilai modulusnya tidak lebih besar dari nilai modulus elastisitas normal. Sehingga hasil modulus elastisitas beton menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari besarnya persentase yang ditambahkan pada campuran beton, mulai dari persentase 15% mengalami penurunan modulus elastisitas.

2. Sifat Mekanis Beton Normal dengan Campuran Tepung Marmer

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kushartomo dan Sari (2018). Penelitian ini menjelaskan bagaimana sifat mekanik beton normal dengan penambahan tepung marmer berdasarkan rencana campuran yang akan dibuat. Pada penelitian ini nilai kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 20 MPa dan 30 MPa dengan menggunakan metode ACI, variasi yang digunakan dalam penambahan tepung marmer sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen yang digunakan. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur pada benda uji balok. Hasil dari penelitian ini didapatkan pada penambahan tepung marmer ke dalam campuran beton normal dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 26%, pada kuat tarik belah sebesar 24%, dan pada kuat lentur 17%. Peningkatan tersebut terjadi akibat tepung marmer dapat mengisi *void* sehingga beton dapat menjadi lebih padat dan kompak.

3. Pengujian Kuat Tekan pada Beton dengan Pecahan Marmer Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar

Pada penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2021). Penelitian ini dilakukan dengan maksud agar hasil dari penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah marmer yang ditinjau dari nilai kuat tekan beton dapat diketahui. Penelitian ini menggunakan variasi pengganti pecahan marmer sebesar 0%, 15%, 25%, dan 35%. Pada benda uji beton silinder yang memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta telah mencapai umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari akan diuji kuat tekannya. Mutu beton akan didesain dengan kuat tekan rencana ($f'c$) sebesar 25 MPa. Hasil dari penelitian ini adalah kuat tekan beton mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton yang tidak menggunakan pecahan marmer. Nilai kuat tekan yang paling besar ada pada variasi 25% yaitu sebesar 33,22 MPa, dengan besar persentase kenaikan kuat tekan sebesar 4,02%.

4. Studi Analisis Beton Mutu Tinggi SCC (*Self Compacting Concrete*) Menggunakan Campuran Limbah Marmer dan *Superplasticizer*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Irfansyah, Rakhmawati, dan Arnandha (2021). Penelitian ini untuk menganalisis beton dengan mutu tinggi SCC dengan menggunakan campuran limbah marmer dan *superplasticizer* terhadap nilai kuat tekan beton. Metode yang digunakan pada pembuatan beton mengacu pada SNI 03-2834-2000. Penelitian ini menggunakan variabel kadar campuran limbah marmer sebesar 0%, 20%, 30%, dan 40%. Hasil dai penelitian ini n kuat tekan rata-rata beton normal sebesar 36,542 MPa, beton normal dengan campuran limbah marmer dan *superplasticizer* sebesar 36,898 MPa, beton campuran limbah marmer 20% sebesar 40,692 MPa, beton campuran limbah marmer 30% sebesar 41,270 MPa, dan beton campuran limbah marmer 40% sebesar 41,948 MPa. Disimpulkan bahwa penambahan campuran limbah marmer dan *superplasticizer* pada beton SCC berpengaruh terhadap kenaikan laju kuat tekan beton seiring bertambahnya persentase limbah marmer.

5. Analisis Kuat Tekan Beton dengan Limbah Serbuk Marmer Sebagai Pengganti Sebagian Semen

Pada penelitian yang dilakukan oleh Velyn Meliana, M. Agus Salim Al

Fathoni, Besty Afriandini, (2022). Dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk dapat mengetahui kuat tekan beton dengan campuran limbah serbuk marmer sebagai pengganti sebagian semen, serta untuk mengetahui beton dengan variasi berapa yang akan mengalami kuat tekan maksimum. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Pada penelitian ini menggunakan rencana mutu beton 25 MPa dengan umur benda uji 28 hari. Hasil yang di dapat dari penelitian ini adalah kuat tekan beton dengan variasi 0%, 2,5%, 5%, dan 7,5% adalah sebesar 26,89 MPa, 25,38 MPa, 25,01 MPa, 25,19 MPa. Nilai kuat tekan maksimum didapat pada variasi campuran 2,5% dengan hasil kuat tekan sebesar 25,38 MPa.

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian saat ini

Adapun perbedaan antara penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan dengan penelitian yang akan dilakukan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Peneliti	Yunan Rusdianto & Misbahul Munir (2015)	Widodo Kushartomo, Dewi Permata Sari (2018)	Agustin Dita Lestari (2021)	Muhammad Haidar, Anis Rakhmawati, Yudhi Armanda (2021)	Velyn Meliana, M.Agus Salim, Besty Afriandini (2022)	Penulis (2023)
Judul Penelitian	Penggunaan Limbah Marmer Sebagai Filler Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas pada Beton	Sifat Mekanis Beton Normal dengan Campuran Tepung Marmer	Pengujian Kuat Tekan pada Beton dengan Pecahan Marmer sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar	Studi Analisis Beton Mutu Tinggi SCC (<i>Self Compacting Concrete</i>) Menggunakan Campuran Limbah Marmer dan <i>Superplasticizer</i>	Analisis Kuat Tekan Beton dengan Limbah Serbuk Marmer sebagai Pengganti Sebagian Semen	Karakteristik Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Absorpsi Beton dengan Penggunaan limbah Marmer Sebagai <i>Filler</i>
Tujuan	Mengetahui penggunaan limbah marmer sebagai filler pada uji absorpsi, kuat tekan dan modulus elastisitas	Mengetahui bagaimana sifat mekanik beton normal dengan adanya penambahan tepung marmer	Mengetahui hasil dari penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah marmer ditinjau dari kuat tekan	Menganalisis beton mutu tinggi SCC dengan campuran limbah marmer dan <i>superplasticizer</i> terhadap nilai kuat tekan beton	Mengetahui kuat tekan beton dengan campuran serbuk marmer, dan variasi maksimumnya	Mengetahui kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi pada beton
Parameter Pengujian	Kuat Tekan, Absorpsi, dan Modulus Elastisitas	Kuat tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Absorpsi
Mutu Beton	27 MPa	20 MPa & 30 MPa	25 MPa	40 MPa	25 MPa	30 MPa
Umur Beton	28 Hari	28 hari	7,14,28 Hari	28 Hari	28 Hari	28 Hari
Variasi	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%	0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%	0%, 15%, 25%, 35%	0%, 20%, 30%, 40%	0%, 2,5%, 5%, 7,5%	0%, 5%, 10%, 15%, 20%
Hasil	Kuat tekan termaksimal benda uji pada persentase penambahan 5% sebesar 28,283 MPa,	Berdasarkan pengujian yang dilakukan peningkatan kuat tekan terjadi ketika	Hasil penelitian ini adalah kuat tekan beton mengalami kenaikan jika	Hasil yang didapatkan pada penelitian ini beton normal tanpa campuran limbah	Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kuat tekan beton dengan	Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah kuat tekan mengalami kenaikan tertinggi pada

Lanjutan Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Peneliti	Yunan Rusdianto & Misbahul Munir (2015)	Widodo Kushartomo, Dewi Permata Sari (2018)	Agustin Dita Lestari (2021)	Muhammad Haidar, Anis Rakhmawati, Yudhi Armanda (2021)	Velyn Meliana, M.Agus Salim, Besty Afriandini (2022)	Penulis (2023)
Hasil	kemudian untuk persentase 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% mengalami penurunan. Absorpsi beton di umur 28 hari juga menunjukkan semakin besar persentase limbah marmer nilainya semakin rendah. Pada pengujian modulus elastisitas apabila beton dengan campuran limbah marmer mempunyai nilai modulus yang lebih besar dari pada nilai modulus beton normal, tetapi pada pengujian ini hanya pada persentase 30% yang nilai modulus elastisitasnya tidak lebih besar dari nilai modulus elastisitas beton normal.	campuran beton menggunakan tepung marmer, peningkatan terjadi terus sampai penambahan sebanyak 15% setelah itu terjadi penurunan, namun nilai yang turun masih lebih besar dari beton yang tidak menggunakan campuran tepung marmer. Berdasarkan nilai rata-rata terhadap hasil pengujian, penggunaan tepung marmer dapat meningkatkan sifat mekanik beton sebesar 26% untuk kuat tekan, 24% untuk kuat tarik belah, dan 17% untuk kuat lentur.	dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton yang tidak menggunakan pecahan marmer. Nilai kuat tekan yang paling besar ada pada variasi 25% yaitu sebesar 33,22 Mpa, dengan besar persentase kenaikan kuat tekan sebesar 4,02%.	marmer dan <i>superplasticizer</i> memiliki nilai kuat tekan rerata sebesar 36,542 MPa, sedangkan beton normal dengan campuran limbah marmer dan <i>superplasticizer</i> memiliki nilai kuat tekan rerata sebesar 36,898 MPa, dan penggunaan variasi limbah marmer 20% menghasilkan 40,692 MPa, variasi 30% menghasilkan 41,270 MPa, dan variasi 40% menghasilkan 41,9488 MPa. Dari semua hasil dapat disimpulkan bahwa dengan adanya variasi limbah marmer memenuhi f_c' beton 40 MPa.	variasi 0%, 2,5%, 5%, dan 7,5% adalah sebesar 26,89 MPa, 15,38 MPa, 25,01 MPa, 25,19 MPa. Nilai kuat tekan maksimum didapatkan pada variasi campuran 2,5% dengan hasil kuat tekan sebesar 25,38 MPa.	Persentase penambahan limbah marmer sebanyak 15% sebesar 32,51 MPa, namun pada penambahan sebanyak 20% mengalami penurunan. Pada pengujian absorpsi juga mengalami kenaikan hingga persentase penambahan limbah marmer sebanyak 15%. Sedangkan, untuk pengujian absorpsi semakin banyak penambahan persentase limbah marmer semakin naik pula nilai absorpsinya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut SNI-2847-2019 beton adalah campuran semen *Portland* atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan komposit yang terdiri dari beberapa bahan seperti pasir, kerikil, semen, air dan bahan tambahan lainnya dengan suatu perbandingan tertentu, beton merupakan material komposit yang artinya kualitas beton sangat bergantung dari masing-masing material pembentuknya. Menurut Nawy (1985) parameter yang dapat mempengaruhi kekuatan beton diantaranya sebagai berikut.

- a) Kualitas semen yang digunakan.
- b) Proporsi semen terhadap campuran.
- c) Kekuatan dan kebersihan dari agregat.
- d) Pencampuran yang cukup.
- e) Penempatan yang tepat, penyelesaian dan pemadatan.
- f) Perawatan pada beton yang sudah jadi.
- g) Kandungan hidrolik tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% pada beton yang tidak diekspos.

Menurut Mulyono (2004) adapun kekurangan dan kelebihan yang dimiliki beton diantaranya sebagai berikut :

1. Kelebihan beton dalam struktur bangunan adalah :
 - a) Beton mudah untuk dibentuk dalam bentuk maupun ukuran sesuai kebutuhan,
 - b) Beton dapat memikul beban yang berat dan termasuk bahan yang awet,
 - c) Beton tahan terhadap temperatur yang tinggi,
 - d) Beton memiliki biaya perawatan yang murah.

2. Kekurangan beton dalam struktur bangunan adalah :
 - a) Beton yang sudah dibentuk akan sulit untuk diubah,
 - b) Pada pelaksanaan pekerjaan dibutuhkan ketelitian yang tinggi,
 - c) Beton memiliki beban yang cukup berat,
 - d) Beton memiliki daya pantul suara yang cukup keras.

3.2 Material Penyusun Beton

Material penyusun beton pada umumnya tersusun dari beberapa material seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah lainnya, dengan penjelasan sebagai berikut.

3.2.1 Semen

Menurut (ASTM C-150,1985), semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis. Umumnya, bahan utamanya digiling bersama dengan satu atau lebih bentuk kalsium sulfat. Selain peran utamanya sebagai pengikat butiran agregat hingga membentuk suatu massa padat, semen juga memiliki fungsi untuk mengisi rongga udara yang terdapat di antara butir agregat. Meskipun komposisi beton sebagian besar berasal dari semen sebagai bahan pengikat, peran semen sangat penting dalam campuran beton. Bahan pembentuk semen terdiri dari bahan senyawa kimia diantaranya sebagai berikut.

1. Trikalsium Silikat (C_3S)

Setelah melepas panas, senyawa ini akan mengeras dalam beberapa jam atau lebih. Kuantitas yang terbentuk pada suatu ikatan akan berpengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

2. Dikalsium Silikat (C_2S)

Senyawa ini akan mengalami hidrasi dengan melepas panas dengan waktu yang cukup lama atau lebih lambat, dan akan menyebabkan pengerasan semen dalam 14 hari hingga 28 hari. Semen yang mengandung banyak senyawa dikalsium silikat akan lebih tahan terhadap agresi kimia dan penyusutan kering.

3. Trikalsium Aluminat (C_3A)

Senyawa ini akan mengalami hidrasi dengan waktu yang lebih cepat, yang dapat menyebabkan kurangnya kekuatan batas, kurangnya ketahanan pada agresi kimiawi, akan mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah, dan tendensinya sangat besar untuk dapat retak oleh perubahan volume.

4. Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF)

Senyawa ini termasuk senyawa yang sangat kecil pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat senyawa yang lainnya.

Menurut (SNI-15-2049,2004), semen *Portland* terbagi menjadi beberapa tipe ditinjau dari segi kegunaannya yaitu sebagai berikut.

1. Tipe I

Semen *Portland* tipe ini dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus.

2. Tipe II

Semen *Portland* tipe ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.

3. Tipe III

Semen *Portland* tipe ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah peningkatan terjadi.

4. Tipe IV

Semen *Portland* tipe ini dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.

5. Tipe V

Semen *Portland* tipe ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Air

Air sangatlah penting dalam pembuatan beton dikarenakan air dapat memicu proses kimiawi pada semen dan dapat membuat prosesnya lebih mudah. Secara umum, air yang akan digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, alkali, asam, atau bahan lain yang dapat merusak beton maupun tulangan pada beton. Air yang akan digunakan dalam beton pra tekan

atau beton yang akan dimasukkan logam aluminium tidak boleh mengandung ion klorida, karena ion klorida dapat menyebabkan korosi. Nilai batas dari ion klorida pada beton tidak boleh melampaui nilai yang tertulis pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Nilai Batas Maksimum Ion Chlorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pra-tegang	0,06
Beton bertulang yang terpapar klorida	0,15
Beton bertulang yang kering atau terlindungi dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

Sumber : PB 1989:23

Air yang dapat digunakan dalam pembuatan beton bisa berupa air tawar seperti, air sungai, danau, telaga, dan lainnya. Jumlah air yang digunakan dalam campuran beton juga perlu diperhatikan. Jika air yang diberikan terlalu berlebihan, gelembung air akan muncul pada campuran setelah proses hidrasi selesai. Sebaliknya, jika terlalu sedikit air yang diberikan, maka proses hidrasi tidak dapat selesai sepenuhnya, yang akan berdampak pada kekuatan beton. Penggunaan air pada suatu campuran beton dapat ditentukan beberapa faktor diantaranya sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum
Apabila diameter ukuran yang dimiliki agregat besar, maka kebutuhan air yang digunakan menurun.
2. Bentuk butiran
Agregat yang memiliki bentuk batu pecah akan memerlukan jumlah air yang lebih banyak dibandingkan dengan agregat yang memiliki bentuk yang bulat.
3. Gradasi agregat
Apabila ukuran butiran agregat beragam dan tersusun dengan rapat dan rongga yang dihasilkan sedikit, maka akan lebih sedikit menurunkan kebutuhan air pada campuran beton untuk kelecakan yang sama.
4. Kotoran dalam agregat

Semakin banyak silt berupa tanah dan lumpur, maka kebutuhan air akan meningkat.

3.2.3 Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam campuran beton. Menurut Tjokrodimulyo (2017), jumlah agregat yang terdapat pada beton antara 60-70% dan karena jumlah agregat yang cukup besar, agregat berperan penting sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat juga mempengaruhi sifat mortar pada beton.

Pada umumnya, agregat yang digunakan untuk campuran beton adalah agregat alam atau buatan. Agregat alam termasuk pasir alami dan kerikil, sedangkan agregat buatan termasuk pecahan genteng, pecahan beton, fly ash, residu PLTU, dan yang lainnya. Agregat dengan ukuran yang lebih kecil dari 40 mm biasanya digunakan untuk campuran beton, namun ukuran yang lebih besar dari 40 mm biasanya digunakan untuk pekerjaan konstruksi seperti jalan, bendungan, tanggul penahan tanah dan yang lainnya.

Menurut (Landgren, 1994), Adapun hal yang perlu diperhatikan pada penggunaan agregat dalam suatu campuran beton sebagai berikut.

1. Volume udara

Volume udara yang ada pada campuran beton dapat mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.

2. Volume padat

Volume yang padat juga dapat mempengaruhi berat isi dari beton.

3. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dapat berpengaruh terhadap proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.

4. Penyerapan

Penyerapan akan berpengaruh terhadap berat jenis.

5. Kadar air permukaan agregat

Kadar air permukaan agregat dapat mempengaruhi penggunaan air pada saat pencampuran beton.

Agregat yang digunakan dibagi menjadi 2 macam berdasarkan bentuk dan

ukurannya antara lain sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Menurut (SNI 03-2834-2000) agregat halus adalah pasir yang dihasilkan secara alami dari batu yang telah dipecahkan atau pasir yang dihasilkan dari industri pemecah batu dengan ukuran butir terbesar 5,0 mm. Adapun pemeriksaan mutu agregat dan persyaratan mutu agregat. Fokus pemeriksaan adalah untuk menghasilkan campuran beton yang memenuhi syarat sehingga beton yang dihasilkan sesuai dengan yang direncanakan. Adapun syarat agregat halus yang digunakan dalam campuran beton sebagai berikut.

- 1) Agregat halus terdiri dari butiran tajam maupun keras yang tidak mudah pecah dan hancur oleh cuaca.
- 2) Kadar lumpur yang terkandung dalam agregat tidak lebih dari 5% terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5%, maka agregat perlu dicuci sebelum digunakan.
- 3) Kadar dari zat organik yang terkandung tidak boleh terlalu banyak.
- 4) Agregat halus terdiri dari butiran yang bervariasi ukurannya dan jika diayak harus memenuhi syarat berikut ini.
 - a) Sisa pada ayakan diatas 4 mm, berat minimum agregat harus 2%.
 - b) Sisa pada ayakan diatas 1 mm, berat minimum agregat harus 10%.
 - c) Sisa pada ayakan diatas 0,25 mm, berat agregat harus pada kisaran 80%-90%.

2. Agregat Kasar

Menurut (SNI 03-2834-2000) agregat kasar adalah kerikil dengan butiran antara 5 mm dan 40 mm yang berasal dari batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu atau berasal dari batu yang telah pecah secara alami. Adapun syarat agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton sebagai berikut.

- 1) Agregat kasar terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang pipih boleh digunakan jika jumlah butiran yang pipih tidak melebihi 20% dari berat total agregat. Agregat kasar juga tidak boleh

pecah maupun hancur oleh cuaca.

- 2) Kadar lumpur yang terkandung dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1%, jika terdapat kandungan lumpur yang lebih maka perlu dicuci dahulu.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton.
- 4) Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan mesin Los Angeles dengan tidak ada kehilangan berat lebih dari 50%.
- 5) Agregat kasar harus terdiri dari berbagai ukuran butiran dengan syarat sebagai berikut.
 - a) Sisa pada ayakan diatas 31,5 mm, berat agregat harus 0%.
 - b) Sisa pada ayakan diatas 4 mm, berat agregat harus pada kisaran 90%-98%.
 - c) Selisih dari sisa kumulatif diatas adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat agregat.
- 6) Ukuran maksimum dari butiran agregat kasar tidak boleh melebihi syarat sebagai berikut.
 - a) 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan.
 - b) 1/3 ketebalan slab.
 - c) 3/4 jarak bersih minimum antara batang atau berkas tulangan.

3.3 Serbuk Marmer

Serbuk marmer merupakan salah satu serbuk buangan yang dihasilkan dari sisa pemotongan dan penghalusan pada usaha pengrajin marmer. Menurut Almindo (2013) serbuk marmer juga dapat dijadikan sebagai bahan alternatif yang dapat dijadikan sebagai bahan pengganti maupun bahan pengisi pada suatu campuran beton karena pada serbuk marmer memiliki kandungan senyawa kalsium karbonat yang dapat meningkatkan suatu sifat kohesif pada campuran beton. Menurut Kushartomo dan Sari (2018) penggunaan material dengan ukuran yang sangat halus juga dapat meningkatkan sifat mekanik pada beton normal, beton mutu tinggi dan *reactive powder concrete*, seperti abu terbang, *silica fume*,

dan tepung marmer. Bahan pengisi yang berbentuk butiran halus ini diharapkan dapat mengisi rongga yang terdapat pada campuran beton, sehingga campuran akan semakin padat. Hasil dari beton yang padat juga akan memberikan ketahanan terhadap kuat desak. Adapun bentuk fisik dari serbuk marmer yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar L-2. 14 bagian lampiran.

3.4 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton adalah cara untuk menentukan komposisi bahan campuran penyusun beton. Perencanaan campuran beton juga bertujuan untuk mendapatkan kuat beton yang memenuhi syarat sesuai dengan rencana. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan perencanaan campuran beton dengan metode yang mengacu pada SNI 2834-2000. Tahapan perencanaan campuran beton antara lain sebagai berikut.

1. Melakukan penentuan kuat tekan beton yang disyaratkan $f'c$ pada bentuk benda uji dan umur tertentu.
2. Mengetahui nilai deviasi standar (S)

Deviasi standar yang didapatkan dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut rumus 3.1 sebagai berikut.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Dengan :

S = Deviasi standar,

x_i = Kuat tekan beton yang didapat masing-masing benda uji,

\bar{x} = Kuat tekan beton rata-rata menurut rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.2)$$

Dengan :

n = Jumlah nilai hasil uji yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji).

Dua hasil uji yang digunakan untuk menghitung standar deviasi harus memenuhi sebagai berikut.

- 1) Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- 2) Mewakili kuat tekan yang disyaratkan $f'c$, nilai dalam batasnya 7 MPa dari nilai $f'cr$ yang sudah ditentukan.
- 3) Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu yang tidak kurang dari 45 hari.
- 4) Apabila suatu produksi beton tidak memiliki dua hasil uji yang memenuhi standar, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil pengujian tersebut dengan faktor pengali pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 2 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Jika Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber : SNI 03-2834,2000

Apabila data uji pada lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rerata yang ditargetkan $f'cr$ harus diambil tidak kurang dari ($f'c + MPa$).

3. Menghitung nilai tambah yang dihitung menurut persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times Sr \quad (3.3)$$

Dengan :

M = Nilai tambah,

1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar 5% (maksimum),

S_r = Nilai deviasi standar rencana.

4. Menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} menurut persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \tag{3.4}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64 S_r \tag{3.5}$$

Dengan :

f'_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa),

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

M = Nilai tambah,

S_r = Nilai deviasi standar.

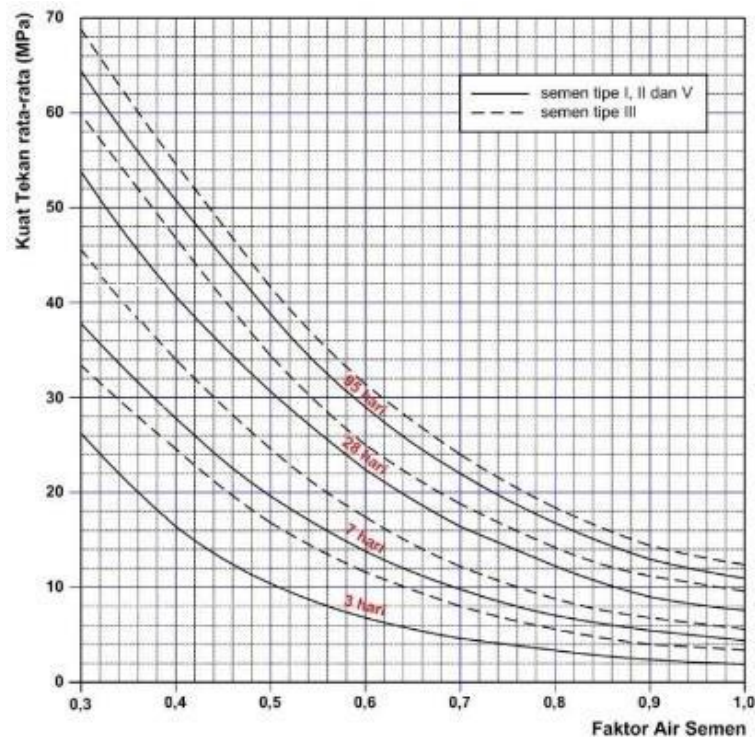
5. Menetapkan jenis semen.
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus.
7. Menentukan faktor air semen (FAS) dengan tahapan sebagai berikut.
 - a) Menentukan nilai kuat tekan pada umur beton 28 hari menggunakan Tabel 3.5 berikut sesuai dengan jenis semen dan agregat yang akan digunakan.

Tabel 3. 3 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

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

Sumber : SNI 03-2834, 2000

- b) Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang didapat dari butir 7a diatas dengan FAS sebesar 0,5 pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

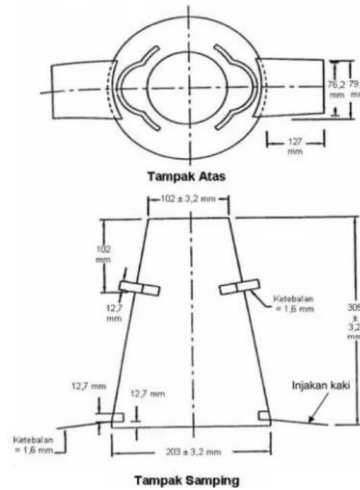


Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber : SNI 03-2834, 2000

- c) Menentukan faktor air semen yang akan digunakan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh dari butir 4 dengan kurva lengkung baru pada butir 7b.
8. Menentukan faktor air maksimum, lalu ambil nilai faktor air semen terkecil antara perhitungan pada butir 7 dan 8.
9. Menentukan nilai *slump*.

Pengujian *slump* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* pengerjaan beton segar yang sudah dilakukan pengujian slump yang dilakukan sesuai dengan SNI 1972-2008 dengan menggunakan cetakan kerucut abras. Adapun alat cetakan untuk uji slump yang dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Cetakan untuk Uji Slump (Kerucut Abram)

Sumber : SNI 03-2834, 2000

Adapun nilai slump yang digunakan sesuai dengan kegunaan beton yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Ketentuan Minimum untuk Beton Bertulang Dalam Air

No	Elemen Struktur	Slump Maksimal (cm)	Slump (min)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tak bertulang, kaisan, dan konstruksi bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber : PBI 1971

10. Ukuran butir agregat maksimum

Pada pengerjaan campuran beton salah satu faktor yang mempengaruhi workability dan kekuatan pada beton adalah ukuran dari butir agregat. SNI 03-2834-2000 menyatakan besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi dari.

11. Menentukan nilai kadar air bebas sesuai dengan Tabel 3.8 lalu dihitung menggunakan persamaan 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber : SNI 03-2834, 2000

$$w = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.6)$$

Dengan :

W = Kadar air bebas (kg/m³),

Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m³),

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m³).

12. Menentukan nilai kadar semen yang diperlukan dilihat dengan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.7)$$

Dengan :

c = Kadar semen (kg/m³),

w = Kadar air bebas (kg/m³),

fas = Faktor air semen.

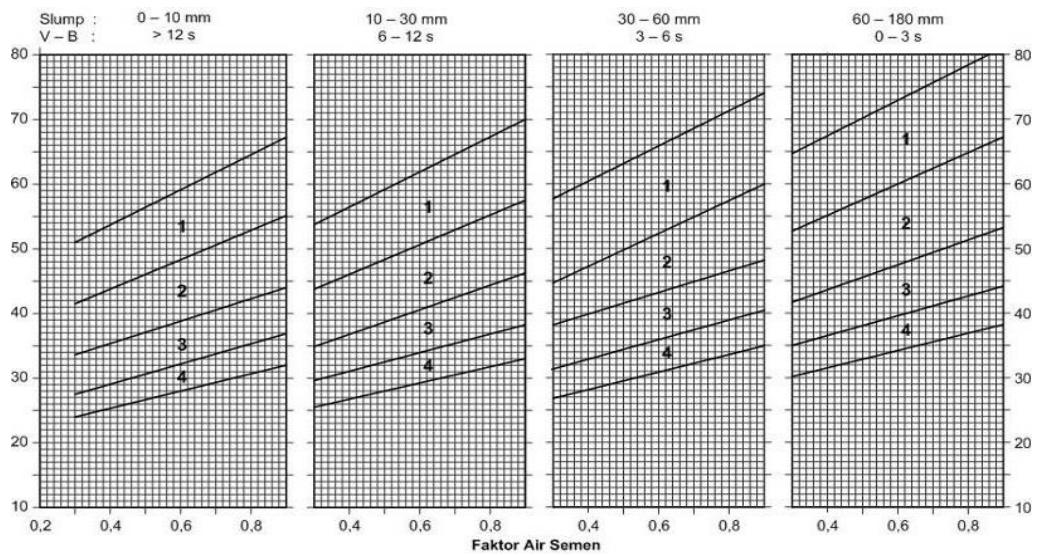
13. Menentukan jumlah kebutuhan semen minimum yang dapat dilihat dari Tabel 3.6. sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum Pada Berbagai Jenis Pembebanan

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif yang disebabkan kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Terkena hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Tidak terkena hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 3.4
Beton yang berlanjut berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.5

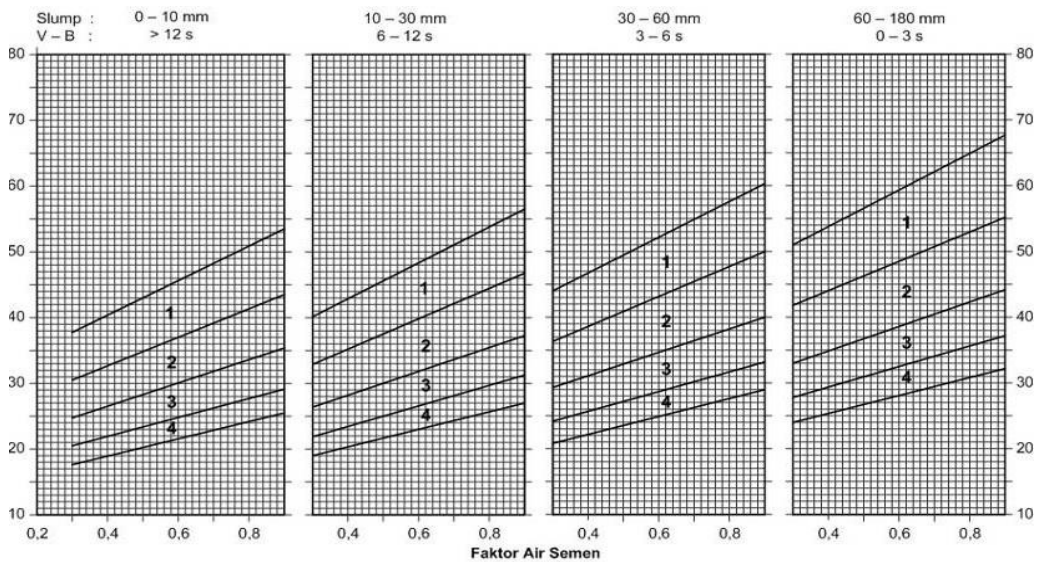
Sumber: SNI 2834-2000

14. Menghitung FAS yang disesuaikan, dihitung apabila ada perubahan kadar semen dari hasil perhitungan menjadi hasil jumlah antara semen minimum atau maksimum.
15. Menentukan susunan butir agregat halus dan agregat kasar yang diperoleh dari pengujian properties agregat.
16. Menentukan persentase agregat halus sesuai dengan grafik yang tertera pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.5.



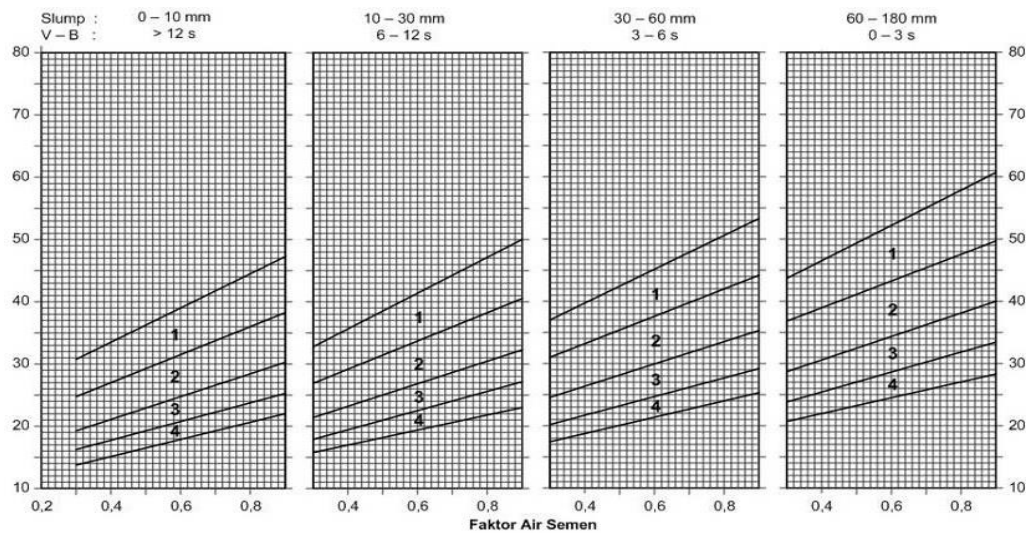
Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

Sumber : SNI 03-2834, 2000



Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Sumber : SNI 03-2834, 2000



Gambar 3. 5 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

Sumber : SNI 03-2834, 2000

17. Menghitung berat jenis relatif agregat sesuai dengan persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$BJ_{Ag.Gab} = \%Ag. Halus \times BJ_{Ag.Halus} + \%Ag. Kasar \times BJ_{Ag.Kasar} \quad (3.8)$$

Dengan :

$BJ_{Ag.Gab}$ = Berat jenis gabungan agregat,

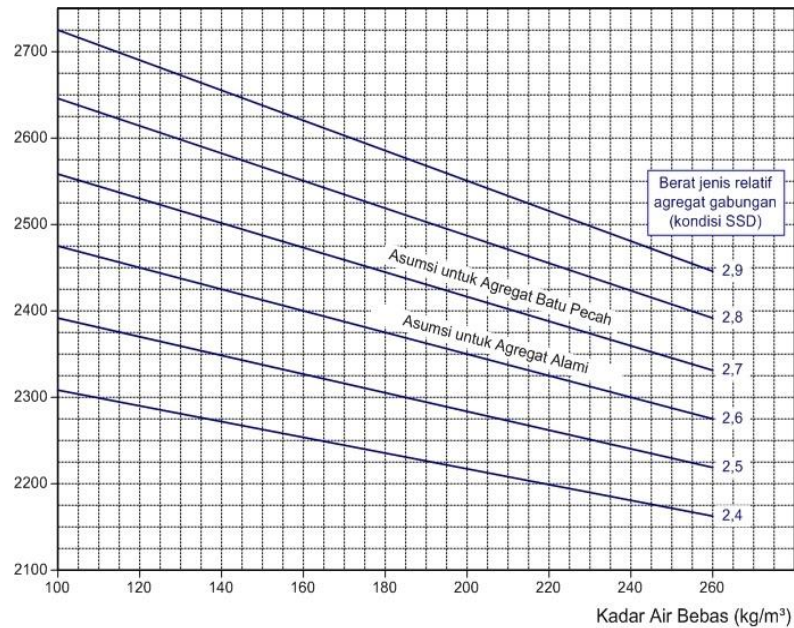
$\% Ag. Halus$ = Persentase agregat halus (%),

$\% Ag. Kasar$ = Persentase agregat kasar (%),

$BJ_{ag.halus}$ = Berat jenis agregat halus,

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

18. Menentukan berat isi beton berdasarkan kadar air bebas dan berat jenis gabungan agregat dengan Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Sudah Selesai Didapatkan

Sumber : SNI 03-2834, 2000

19. Menentukan kadar agregat gabungan dengan menghitung sesuai persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$W_{Ag.Gab} = W_{Beton} - W_{Semen} - W \quad (3.9)$$

Dengan :

$$W_{Ag.Gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)},$$

$$W_{Beton} = \text{Berat volume beton (kg/m}^3\text{)},$$

$$W_{Semen} = \text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)},$$

$$W = \text{Kadar air bebas (kg/m}^3\text{)}.$$

20. Menentukan kadar agregat halus dengan menghitung sesuai persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$W_{Ag.Halus} = \%Ag. Halus - W_{Ag.Gab} \quad (3.10)$$

Dengan :

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

$$\%Ag.Halus = \text{Persentase agregat halus (kg/m}^3\text{)},$$

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

21. Menentukan kadar agregat kasar dengan menghitung sesuai persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$W_{Ag.Kasar} = W_{Ag.Gab} - W_{Ag.Halus} \quad (3.11)$$

Dengan :

$W_{Ag.Kasar}$ = Kadar agregat kasar (kg/m^3),

$W_{Ag.Halus}$ = Kadar agregat halus (kg/m^3),

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

22. Hasil mix design didapatkan jumlah campuran pada setiap m^3 dengan agregat yang memiliki kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Sehingga untuk pengujian, didapatkan jumlah campuran per m^3 dengan volume total pada benda uji.

3.5 Kuat Tekan

Menurut Mulyono (2004), kuat tekan pada beton merupakan sebuah kemampuan yang dimiliki beton untuk menerima sebuah gaya tekan per-satuan luas. Kuat tekan juga dapat diartikan sebagai sebuah kekuatan mutu yang dimiliki pada sebuah struktur. Nilai kuat tekan pada beton ditentukan berdasarkan SNI 1974, 2011 sesuai persamaan sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

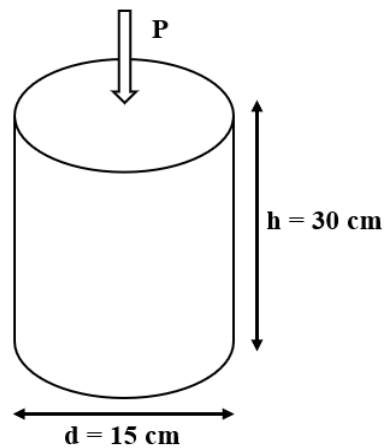
Dengan :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa/ N/mm^2),

P = Beban maksimum (N),

A = Luas penampang (mm^2).

Adapun sketsa pengujian kuat tekan pada benda uji silinder yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3. 7 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Silinder

3.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus *young* adalah perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Nilai modulus elastisitas pada beton juga merupakan salah satu parameter yang penting dalam sebuah perencanaan dan desain struktur pada beton. Nilai modulus elastisitas juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya sebagai berikut.

- 1) Nilai proporsi volume agregat dalam suatu campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton. Modulus agregat yang lebih tinggi dan proporsi volume agregat yang lebih besar menentukan modulus elastisitas pada beton.
- 2) Kandungan air yang tinggi pada suatu campuran beton mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi.
- 3) Umur pada beton juga dapat mempengaruhi nilai modulus elastisitas, seiring bertambahnya umur beton maka akan semakin besar pula nilai modulus elastisitasnya.
- 4) Jenis campuran pada beton juga akan memberikan nilai modulus yang berbeda pada umur dan kekuatan yang sama.

Nilai modulus elastisitas beton, menurut ASTM C-469:1994, juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.13)$$

Dengan :

E_c = Modulus elastisitas (MPa),

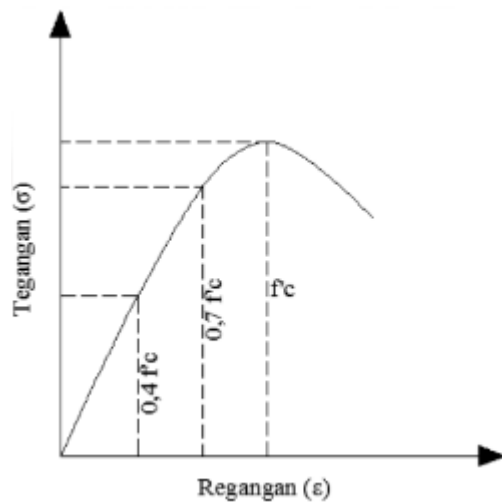
S_2 = Tegangan ketika 40% dari beban maksimum (MPa),

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa),

ε_2 = Regangan akibat tegangan S_2 ,

ε_1 = 0,000050.

Adapun perhitungan diatas akan menghasilkan kurva hubungan antara tegangan dengan regangan beton yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut.

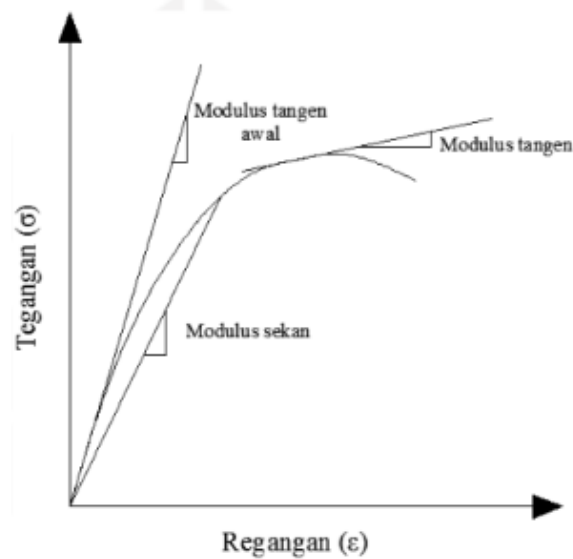


Gambar 3. 8 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

Sumber : Nawy, 1990

Kurva hubungan tegangan dan regangan beton diatas merupakan kurva linier pada taraf pembebanan awal, garis singgung pada kurva tegangan regangan dari titik pusat adalah modulus elastisitas (*modulus young*). Kemiringan pada garis singgung dapat diartikan sebagai modulus tangen awal, apabila dibuat modulus tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar $0,4 \times f'c$ maka disebut modulus elastisitas sekan beton. Modulus sekan adalah hasil dari modulus elastisitas yang ditinjau. Modulus tangen dan modulus sekan dapat dilihat pada

Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3. 9 Modulus Sekan dan Modulus Tangen beton

Sumber : Nawy, 1990

Adapun menurut SNI 2847-2019, nilai modulus elastisitas beton juga dapat dihitung pada persamaan 3.14 dan persamaan 3.15 sebagai berikut.

1. Jika diketahui berat volume

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,0434 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.14)$$

2. Jika tidak diketahui berat volume

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.15)$$

Dengan :

f'_c = Kuat tekan maksimal yang dicapai (MPa),

W_c = Berat volume beton normal (kg/m^3)

3.7 Absorpsi

Absorpsi beton adalah sebuah kemampuan yang dimiliki oleh beton untuk dapat menyerap air maupun cairan lain. Proses penyerapan air pada beton yaitu dengan melalui pori-pori kapiler yang terdapat pada permukaan beton. Apabila pori-pori yang dimiliki beton banyak, maka akan semakin besar pula tingkat

penyerapan air pada beton tersebut dan dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan beton tersebut. Oleh karena itu, pengendalian penyerapan air pada beton sangatlah penting dalam sebuah struktur beton. Menurut SNI 6433, 2016 nilai absorpsi beton dapat dihitung dengan persamaan 3.15 berikut ini.

$$P_A = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (3.15)$$

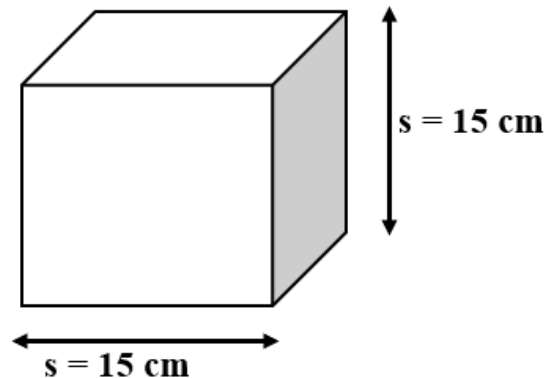
Dengan :

P_A = Nilai absorpsi (%),

B = Massa contoh uji kering permukaan di udara setelah perendaman (gram),

A = Massa contoh uji kering oven di udara (gram).

Adapun sketsa benda uji kubus untuk pengujian absorpsi yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut.



Gambar 3. 10 Benda Uji Kubus untuk Pengujian Absorpsi

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan dan menyusun data setelah melakukan analisis masalah untuk tujuan penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas pada penelitian ini adalah persentase dari serbuk marmer yang digunakan sebagai *filler*.
2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kuat tekan, nilai modulus elastisitas, dan nilai absorpsi pada beton.
3. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah kuat tekan rencana ($f'c$), bentuk benda uji dan dimensi benda uji.

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Pada penelitian ini, semen *Portland* yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merek semen Gresik dengan berat 40 kg.

2. Agregat

Pada penelitian ini, agregat halus yang digunakan berasal dari Merapi dan agregat kasar yang digunakan berasal dari Sungai Progo.

3. Air

Pada penelitian ini, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.

4. Bahan Tambah

Pada penelitian ini, serbuk marmer yang digunakan berasal dari Solo Marmer Group.

4.4 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk menimbang berat material.

2. Oven

Oven adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan material. Pada penelitian ini, oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar pada pengujian berat jenis dan penyerapan serta digunakan untuk mengeringkan benda uji kubus pada pengujian absorpsi.

3. Saringan agregat

Saringan agregat atau ayakan mesh adalah alat yang digunakan sebagai pemisah material butir agregat sesuai ukuran. Pada penelitian ini saringan digunakan pada pengujian analisa lolos saringan agregat.

4. Piktometer

Piktometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis. Pada penelitian ini piktometer digunakan pada pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.

5. Cetakan silinder dan kubus.

Cetakan adalah alat yang digunakan untuk mencetak beton segar sesuai kebutuhan.

6. Alat ukur

Alat ukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur dimensi dari benda yang akan digunakan. Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan berupa penggaris, meteran, dan jangka sorong.

7. Gelas ukur
Gelas ukur adalah alat yang digunakan untuk menakar bahan yang digunakan pada pengujian.
8. Ember
Ember adalah alat yang digunakan sebagai tempat atau wadah material.
9. Sekop
Sekop adalah alat yang digunakan untuk mengambil material dan menuangkan beton segar ke dalam bekisting.
10. Lap
Lap adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan benda uji kubus setelah dilakukan perendaman pada pengujian absorpsi.
11. Bak perendaman
Bak perendaman adalah bak yang digunakan untuk merendam benda uji beton pada perawatan beton selama waktu yang ditentukan.
12. Mixer
Mixer adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan dan material sesuai dengan perhitungan rencana.
13. Kerucut abram
Kerucut abram adalah alat yang digunakan untuk mengetahui nilai slump dari campuran beton segar.
14. Dial Gauge
Dial Gauge adalah alat yang digunakan untuk mengetahui regangan beton pada saat uji modulus elastisitas.
15. Mesin uji tekan
Mesin uji tekan adalah alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan pada beton.
16. Troli
Troli adalah alat yang digunakan untuk mengangkut atau memindahkan benda uji beton agar lebih efisien waktu.

4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan dan tanpa *filler* serbuk marmer, persentase kadar yang digunakan sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat semen. Pengujian dilakukan ketika beton mencapai umur 28 hari. Penelitian ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 30 cm dan tinggi 15 cm, dan benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm. Benda uji silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas, benda uji kubus digunakan untuk pengujian absorpsi. Jumlah benda uji yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 25 buah silinder dan 15 buah kubus, rincian benda uji yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Umur Benda Uji	Persentase Serbuk Marmer	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	28 Hari	0%	T/M-N	5
		5%	T/M-5	5
		10%	T/M-10	5
		15%	T/M-15	5
		20%	T/M-20	5
Absorpsi		0%	AB-N	3
		5%	AB-5	3
		10%	AB-10	3
		15%	AB-15	3
		20%	AB-20	3
Jumlah Sampel				40

Dengan :

T/M = Uji Kuat Tekan dan Uji Modulus Elastisitas

AB = Uji Absorpsi

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilaksanakan diantaranya adalah sebagai berikut.

4.6.1 Persiapan

Persiapan adalah salah satu tahapan awal, pada tahapan ini penulis melakukan persiapan bahan maupun material serta peralatan yang akan digunakan pada penelitian.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat adalah tahapan pengujian material agregat untuk dapat mengetahui sifat dan karakteristik pada suatu agregat yang akan digunakan. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai acuan pada tahapan mix design. Adapun beberapa macam standar yang digunakan dalam proses pengujian agregat antara lain sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998.
7. Pengujian butiran lolos ayakan no.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) mengacu pada SNI 4142-1996.
8. Pengujian nilai slump beton mengacu pada SNI 1972-2008.
9. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011.
10. Pengujian modulus elastisitas beton mengacu pada SNI 4169-1966.
11. Pengujian absorpsi beton mengacu pada SNI 6433-2016.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) adalah tahapan yang dilakukan

setelah didapat hasil pengujian agregat. Pada tahapan ini mengacu pada SNI 2834-2000. Detail dari analisis perhitungan campuran beton akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

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

Setelah melakukan tahapan perencanaan campuran beton dengan mutu rencana sebesar 30 Mpa, selanjutnya adalah tahapan membuat benda uji *trial* dan dilakukan pengujian pada benda uji *trial* tersebut. Tujuan tahapan ini adalah untuk mengetahui dan memastikan bahwa perhitungan pada perencanaan campuran beton yang dilakukan sesuai dengan rencana, apabila hasil dari uji *trial* sesuai dengan rencana, maka dapat dilakukan tahapan selanjutnya.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pada tahapan pembuatan benda uji mengacu pada hasil perhitungan perencanaan campuran beton yang sudah direncanakan. Komposisi yang sudah ditentukan dapat dicampurkan menjadi satu didalam alat *mixer*. Setelah dicampur akan menghasilkan campuran beton segar yang siap untuk dilakukan uji slump, tujuan uji slump untuk mengetahui apakah campuran yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan. Apabila sudah dilakukan uji slump maka campuran dapat langsung dituangkan ke dalam cetakan bekisting. Setelah itu diamkan beton segar selama 24 jam pada cetakan bekisting dan apabila sudah mengeras, cetakan bekisting dapat dilepaskan dan benda uji siap untuk dilakukan proses perawatan. Perawatan dilakukan dengan cara perendaman ke dalam air sampai mencapai umur yang sudah direncanakan 28 hari.

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi. Adapun uraian pelaksanaan pengujian sebagai berikut.

1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011, tahapan pelaksanaan yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

- a. Keluarkan benda uji yang sudah dilakukan perawatan dengan direndam kemudian biarkan benda uji tersebut kurang lebih 24 jam.

- b. Benda uji perlu diukur dan ditimbang.
- c. Siapkan alat ukur benda uji yang sudah kering.
- d. Benda uji yang sudah kering perlu diberikan belerang pada permukaan beton yang tidak rata.
- e. Setelah benda uji siap, letakan benda uji ke dalam mesin pengujian.
- f. Alat siap dijalankan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur dan catat beban maksimum yang diterima benda uji.

2. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton mengacu pada SNI 4169-1966, tahapan pelaksanaan yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

- a. Siapkan alat serta benda uji.
- b. Lakukan pengukuran dan penimbangan pada benda uji.
- c. Pasang alat kompresometer ekstensiometer pada benda uji dan pasang alat pengukur deformasi.
- d. Benda uji yang sudah siap dapat diletakkan ke dalam mesin uji tekan.
- e. Alat siap dijalankan dan lakukan pembacaan serta catat deformasi setiap peningkatan pada beban 10 kN. Pembacaan selesai apabila benda uji sudah hancur dan lakukan pembacaan beban maksimum yang terjadi.

3. Pengujian Absorpsi

Pengujian absorpsi beton mengacu pada SNI 6433-2016, tahapan pelaksanaan yang dilakukan antara lain sebagai berikut.

- a. Keluarkan benda uji yang sudah direndam.
- b. Masukkan benda uji ke dalam oven selama tidak kurang dari 24 jam di temperatur $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- c. Keluarkan benda uji yang sudah di oven, lalu diamkan benda uji sampai dingin di temperatur $(20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$.
- d. Ukur berat benda uji kering oven.
- e. Rendam kembali benda uji kering oven ke dalam air selama tidak kurang dari 24 jam.

- f. Setelah direndam keluarkan benda uji dan keringkan permukaan benda uji yang bertujuan agar kelembapan permukaan pada benda uji hilang.
- g. Ukur benda uji hasil dari perendaman.

4.6.7 Pengolahan Data

Pada tahapan ini melakukan pengolahan data yang sudah diperoleh dari setiap pengujian. Pengolahan data yang dilakukan berdasar kepada kode dan landasan teori penelitian yang dilakukan, sehingga mendapatkan parameter yang dapat digunakan untuk tahapan berikutnya.

4.6.8 Analisis Data

Analisis data adalah tahapan melakukan perbandingan dari kelompok variabel tertentu agar dapat mengetahui perbedaan nilai yang telah dilakukan.

4.6.9 Pembahasan

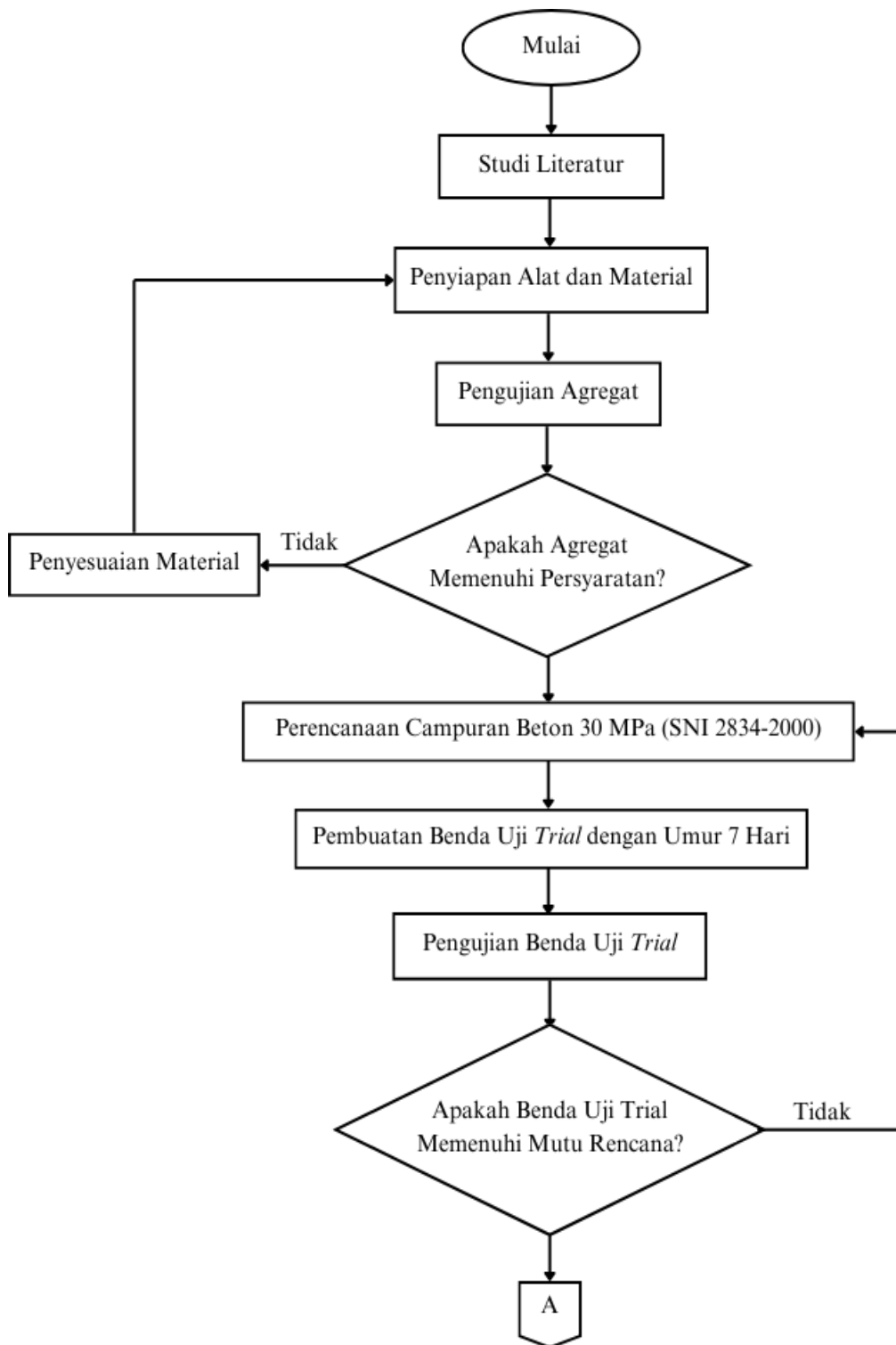
Pembahasan adalah tahapan melakukan pembahasan hasil dari analisis data yang sudah dilakukan untuk dapat memberikan jawaban terhadap perbedaan nilai pada tahapan analisis data.

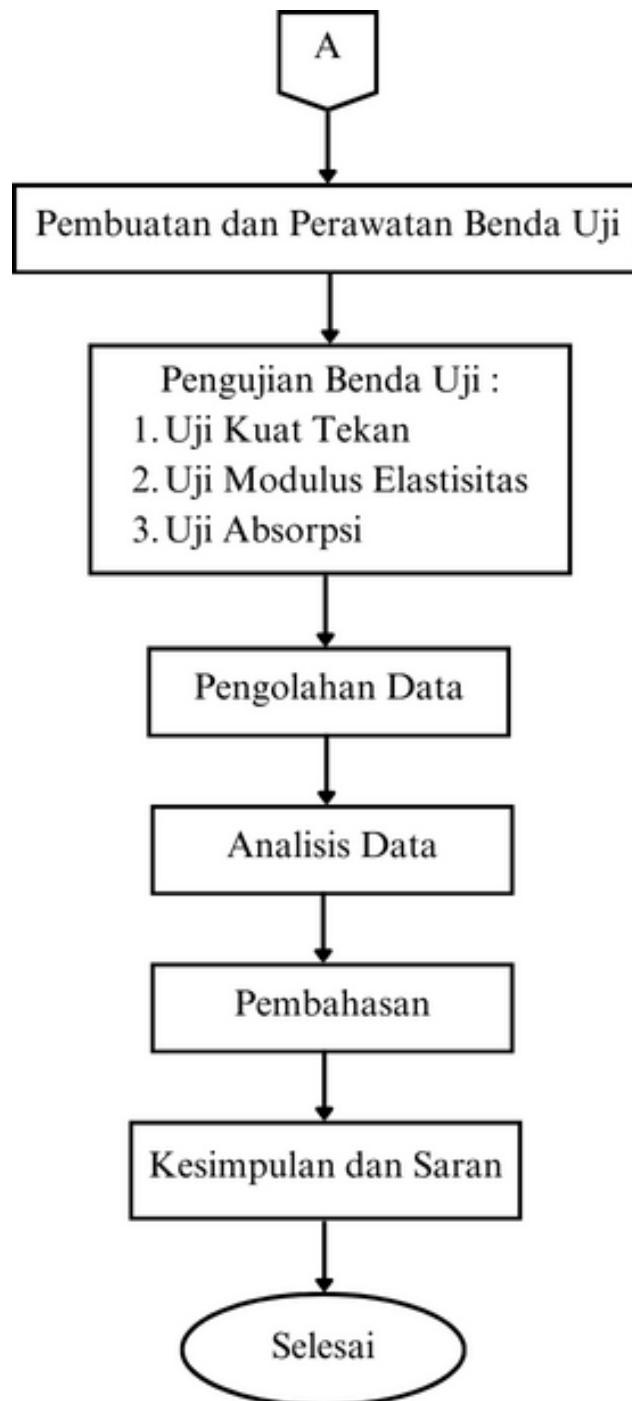
4.6.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran adalah tahapan menyimpulkan hasil pembahasan yang sudah dilakukan yang dapat mengacu pada tujuan penelitian, dan pada tahapan ini akan adanya saran yang dapat digunakan pada pengujian berikutnya.

4.6.11 Kerangka Alur Penelitian

Adapun kerangka alur pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.





Gambar 4. 1 *Flowchart* Alur Penelitian

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada suatu penelitian data yang sudah didapatkan perlu dilakukan sebuah analisis dan pembahasan agar didapatkan hasil untuk mencapai tujuan dari penelitian. Bab ini berisi mengenai penjelasan data atau hasil dari penelitian yang sudah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT).

5.2 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang akan digunakan pada campuran beton. Sebelum agregat digunakan sebaiknya dilakukan pengujian, dikarenakan agregat yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini pengujian agregat yang dilakukan diantaranya pengujian agregat halus, pengujian agregat kasar dan pengujian agregat halus serbuk marmer.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume gembur dan volume padat, dan pengujian lolos saringan no.200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir). 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 mengacu pada SNI 1970-2016. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan berikut adalah contoh perhitungan sampel 1 yang didapat.

a. Berat jenis curah $= \frac{B_k}{B+500-B_t}$

$$= \frac{490}{666+500-982}$$

$$= 2,66$$

b. Berat jenis SSD $= \frac{500}{B+500-Bt}$

$$= \frac{500}{666+500-982}$$

$$= 2,71$$

c. Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

$$= \frac{490}{666+490-982}$$

$$= 2,81$$

d. Penyerapan air $= \frac{500 - Bk}{Bk}$

$$= \frac{500 - 490}{490}$$

$$= 2,04$$

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 2 juga sama seperti perhitungan sampel 1, sehingga didapatkan nilai rerata untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

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

Uraian	Hasil Pengujian		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	489	489,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	982	977	979,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	666	666	666
Berat jenis curah, (Bk/(B+500-Bt))	2,66	2,58	2,62
Berat jenis jenuh kering permukaan, (500/(B+500-Bt))	2,71	2,64	2,68
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,81	2,74	2,78
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk x 100) %	2,04%	2,24%	2,14%

Hasil pengujian berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) didapat nilai rata-rata sebesar 2,68 dan pengujian

penyerapan air agregat halus didapat nilai rata-rata sebesar 2,14%.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3, berikut adalah contoh perhitungan sampel 1 yang didapat.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{2}{1999} \times 100\% \\ &= 0,10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{83}{1999} \times 100\% \\ &= 4,15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{278}{1999} \times 100\% \\ &= 13,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{693}{1999} \times 100\% \\ &= 34,6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{637}{1999} \times 100\% \\ &= 31,8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{194}{1999} \times 100\% \\ &= 9,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{112}{1999} \times 100\% \\ &= 5,60\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 0,10\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 0,10\% + 4,15\% = 4,25\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 4,25\% + 13,9\% = 18,1\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,6 mm} = 18,1\% + 34,6\% = 52,8\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,3 mm} = 52,8\% + 31,8\% = 84,6\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 84,6\% + 9,70\% = 94,3\%$$

Pan	= 94,3% + 5,60%	= 100%
c. Persentase lolos Kumulatif		
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 0,10%	= 99,8%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 4,15%	= 95,7%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 18,1%	= 81,8%
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 52,8%	= 47,1%
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 84,6%	= 15,3%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 94,3%	= 5,60%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 2 juga sama seperti perhitungan sampel 1, sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	0
20	0	0	0	0
10	0	0	0	0
4,8	2	0,10	0,10	99,8
2,4	83	4,15	4,25	95,7
1,2	278	13,9	18,1	81,8
0,6	693	34,6	52,8	47,1
0,3	637	31,8	84,6	15,3
0,15	194	9,70	94,3	5,60
Pan	112	5,60	100	0
Jumlah	1999	100	254,4	645,5

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	0
20	0	0	0	0
10	0	0	0	0
4,8	5	0,25	0,25	99,7
2,4	155	7,76	8,01	91,9
1,2	241	12,0	20,0	79,9
0,6	670	33,5	53,6	46,3
0,3	529	29,6	83,2	16,7
0,15	236	11,8	95,0	4,90

Pan	98	4,90	100	0
Jumlah	1997	100	260,3	639,6

Berdasarkan Tabel 5.2 dan 5.3 diatas Pengujian analisa saringan agregat halus maka didapat nilai modulus halus butir (MHB) dengan perhitungan sebagai berikut.

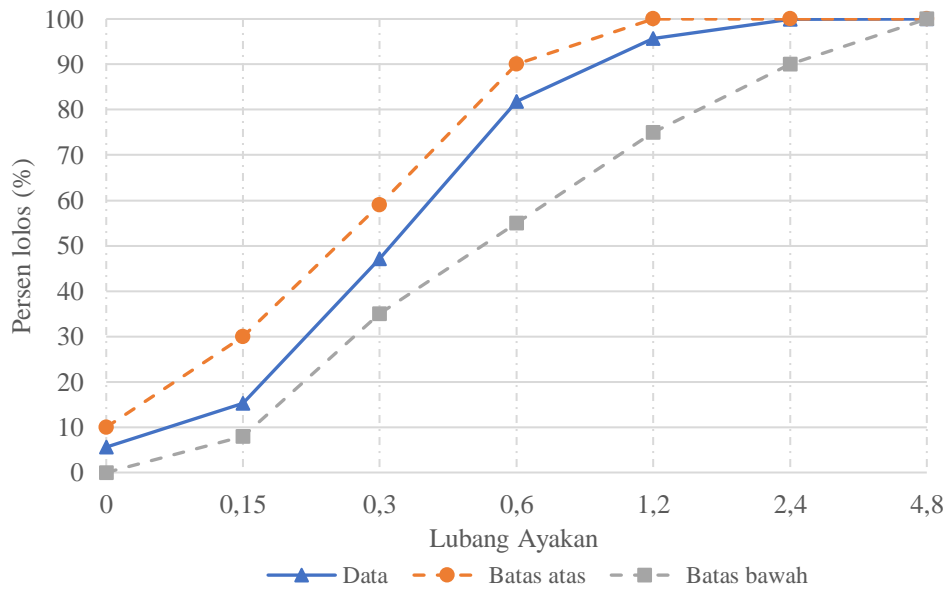
$$\begin{aligned}
 \text{a. Modulus halus butir sampel 1} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggi kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{254,4}{100} \\
 &= 2,54 \\
 \text{b. Modulus halus butir sampel 2} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggi kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{260,3}{100} \\
 &= 2,61 \\
 \text{c. Modulus halus butir rata-rata} &= \frac{\text{MHB1} + \text{MHB2}}{100} \\
 &= \frac{254,4 + 260,3}{2} \\
 &= 2,57
 \end{aligned}$$

Pada pengujian nilai modulus halus butir agregat halus yang dilakukan sudah sesuai dengan persyaratan pada SNI 03-1968-1990 yang dimana bahwa nilai modulus halus butir agregat halus ada dalam rentang 1,5-3,8. Pada pengujian analisa saringan juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan Tabel 5.4 sebagai berikut.

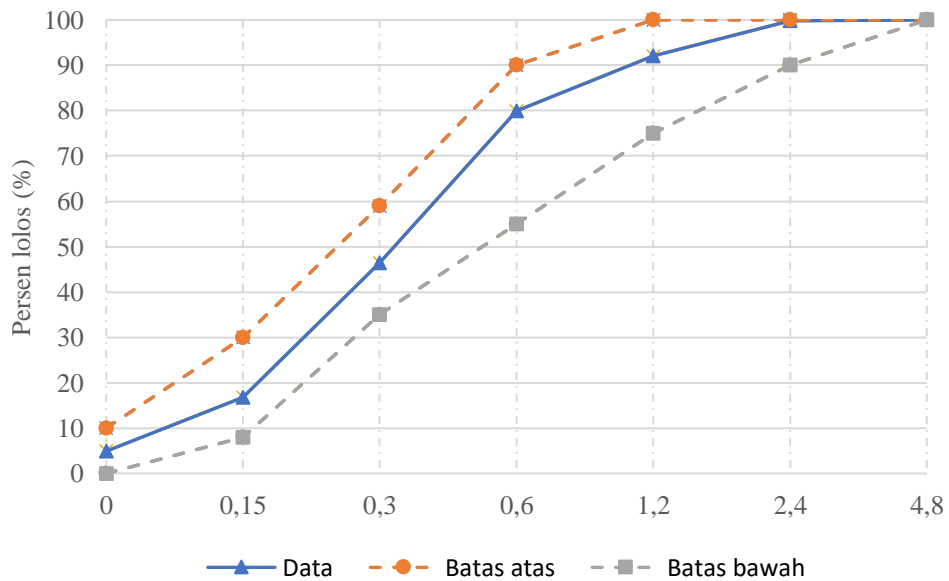
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

Dari kurva gradasi diatas, maka agregat halus yang digunakan pada

penelitian ini masuk dalam daerah gradasi II (pasir agak kasar).

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat pada Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} 1.) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 17857 - 10561 \\ &= 7296 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30,22 \\ &= 5375,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7296}{5375,98} \\ &= 1,3571 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} 1.) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19286 - 10561 \\ &= 8725 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30,22 \\ &= 5375,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8725}{5375,98} \\ &= 1,6230 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Pada perhitungan sampel 2 juga sama dilakukan, sehingga didapatkan hasil rekapitulasi pengujian volume gembur dan padat agregat halus yang dapat

dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,22	30,22	30,22
Berat tabung (W1), gram	10561	10561	10561
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17857	18074	17966
Berat agregat (W3), gram	7296	7513	7405
Volume tabung (V), gram	5375,98	5375,98	5375,98
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,3571	1,3975	1,3773

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,22	30,22	30,22
Berat tabung (W1), gram	10561	10561	10561
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19286	20043	19665
Berat agregat (W3), gram	8725	9482	9104
Volume tabung (V), gram	5375,98	5375,98	5375,98
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,6230	1,7638	1,6934

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapat nilai rata-rata dari berat volume gembur agregat halus sebesar 1,38 gram/cm³ dan nilai rata-rata dari berat volume padat agregat halus sebesar 1,69 gram/cm³.

4. Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)
Pada pengujian saringan no.200 (uji kadar lumpur) mengacu pada SNI

4142-1996. Perhitungan kadar lumpur dalam agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 495}{500} \times 100\% \\ &= 1\% \end{aligned}$$

Pada perhitungan sampel 2 juga sama dilakukan, sehingga didapatkan hasil rekapitulasi pengujian lolos saringan no.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	495	492	493,5
Persentase yang lolos ayakan No.200 [(W1-W2)/W1] x 100	1	1,6	1,3

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapat nilai rata-rata dari pengujian lolos saringan No.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) 1,3%.

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume gembur dan volume padat. Hasil dari pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-1990. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan berikut adalah contoh perhitungan sampel 1 yang didapat.

a. Berat jenis curah $= \frac{B_k}{B_j - B_a}$

$$= \frac{4881}{5000-3110}$$

$$= 2,58$$

b. Berat jenis SSD $= \frac{500}{B_j - B_a}$

$$= \frac{5000}{5000-3110}$$

$$= 2,64$$

c. Berat jenis semu $= \frac{B_k}{B_k - B_a}$

$$= \frac{4881}{4881-3110}$$

$$= 2,75$$

d. Penyerapan air $= \frac{5000 - B_k}{B_k} \times 100\%$

$$= \frac{5000 - 4881}{4881} \times 100\%$$

$$= 2,43 \text{ gram}$$

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 2 juga sama seperti perhitungan sampel 1, sehingga didapatkan nilai rerata untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengujian		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4881	4886	4883,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Ba)	3110	3105	3107
Berat jenis curah Bk/(Bj-Ba)	2,58	2,57	2,58
Berat jenis jenuh kering permukaan, (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,64	2,63	2,64
Berat jenis semu, Bk/(Bk-Ba)	2,75	2,74	2,74
Penyerapan air, (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,43%	2,33%	2,38%

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) didapat nilai rata-rata sebesar 2,64 gram dan pengujian penyerapan air agregat kasar didapat nilai rata-rata sebesar 2,38%.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10, berikut adalah contoh perhitungan sampel 1 yang didapat.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{4999} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{50}{4999} \times 100\% \\ &= 1,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3557}{4999} \times 100\% \\ &= 71,2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1363}{4999} \times 100\% \\ &= 27,3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{1}{4999} \times 100\% \\ &= 0,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{1}{4999} \times 100\% \\ &= 0,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{27}{4999} \times 100\% \\ &= 0,54\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

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

$$\text{Lubang ayakan 20 mm} = 0\% + 1,02\% = 1,02\%$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = 1,02\% + 71,2\% = 72,2\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 72,2\% + 27,3\% = 99,5\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = 99,5\% + 0,02\% = 99,5\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = 99,5\% + 0,02\% = 99,5\%$$

$$\text{Pan} = 99,5\% + 0,5\% = 100\%$$

c. Persentase lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm	= 100% - 0%	= 100%
Lubang ayakan 20 mm	= 100% - 1,02%	= 98,9%
Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 72,2%	= 27,8%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 99,5%	= 0,5%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 99,5%	= 0,5%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 99,5%	= 0,5%
Pan	= 100% - 100%	= 0%

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 2 juga sama seperti perhitungan sampel 1, sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk pengujian analisa saringan agregat kasar. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	50	1,02	1,02	98,9
10	3557	71,1	72,1	27,8
4,8	1363	27,2	99,4	0,5
2,4	1	0,02	99,4	0,5
1,2	1	0,02	99,4	0,5
0,6	0	0	99,4	0,5
0,3	0	0	99,4	0,5
0,15	0	0	99,4	0,5
Pan	27	0,54	100	0
Jumlah	4999	100	669,8	130,1

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	41	0,82	0,82	99,1
10	3840	76,8	77,6	22,3
4,8	1092	21,8	99,4	0,5
2,4	3	0,06	99,5	0,4
1,2	1	0,02	99,5	0,4
0,6	0	0	99,5	0,4
0,3	0	0	99,5	0,4
0,15	0	0	99,5	0,4
Pan	20	0,40	100	0
Jumlah	4997	100	669,8	124,2

Berdasarkan Tabel 5.9 dan 5.10 diatas Pengujian analisa saringan agregat kasar maka didapat nilai modulus halus butir (MHB) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Modulus halus butir sampel 1} &= \frac{\Sigma \text{persentase berat tertinggi kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{669,8}{100} \\
 &= 6,69 \\
 \text{b. Modulus halus butir sampel 2} &= \frac{\Sigma \text{persentase berat tertinggi kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{675,7}{100} \\
 &= 6,75 \\
 \text{c. Modulus halus butir rata-rata} &= \frac{\text{MHB1} + \text{MHB2}}{100} \\
 &= \frac{6,69 + 6,75}{2} \\
 &= 6,72
 \end{aligned}$$

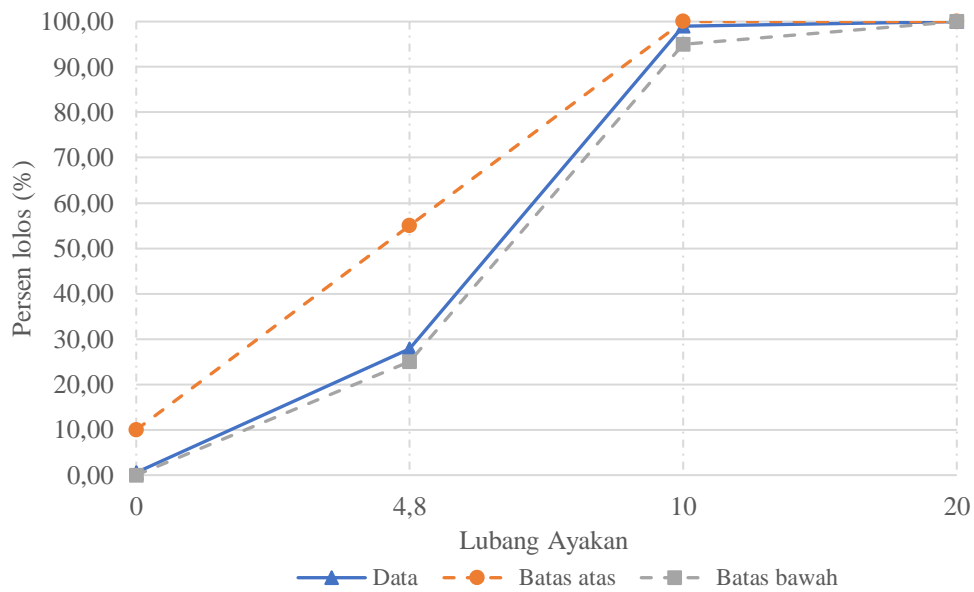
Pada pengujian nilai modulus halus butir agregat kasar yang dilakukan sudah sesuai dengan persyaratan pada SNI 03-1968-1990 yang dimana bahwa nilai modulus halus butir agregat kasar ada dalam rentang 5-8. Pada pengujian analisa saringan juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar

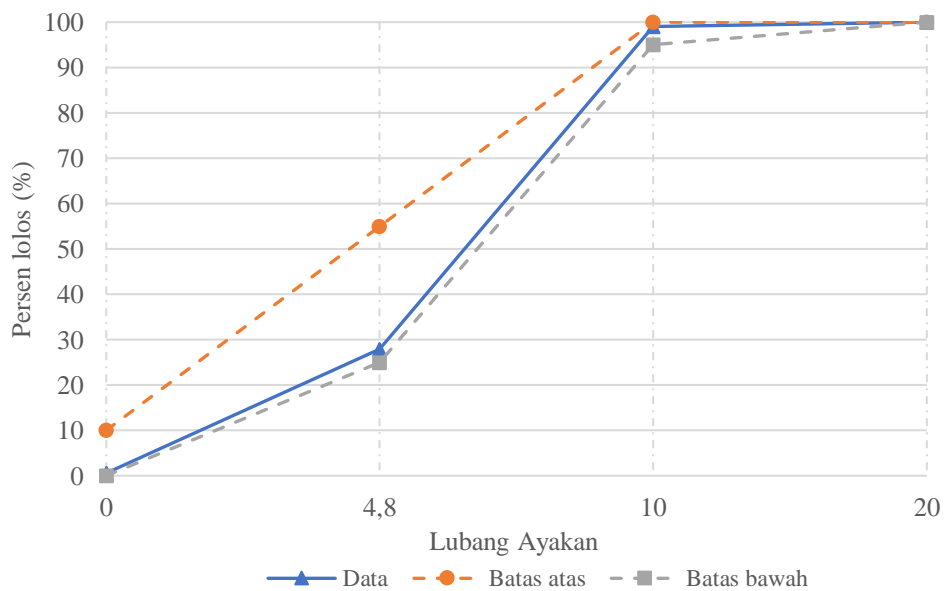
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100 – 100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 - 35	25 – 55
4,8	0 - 5	0 - 10

Sumber: SNI 2834-2000

Dari Tabel 5.11 diatas, maka akan menghasilkan kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

Dari kurva gradasi diatas, maka agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat pada Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} 1.) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 17433 - 10561 \\ &= 6872 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30,22 \\ &= 5375,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{6872}{5375,98} \\ &= 1,2783 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} 1.) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19169 - 10561 \\ &= 8608 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2.) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,05^2 \times 30,22 \\ &= 5375,98 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3.) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{8608}{5375,98} \\ &= 1,6012 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Pada perhitungan sampel 2 juga sama dilakukan, sehingga didapatkan hasil rekapitulasi pengujian volume gembur dan padat agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,22	30,22	30,22
Berat tabung (W1), gram	10561	10561	10561
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17433	17650	17542
Berat agregat (W3), gram	6872	7089	6981
Volume tabung (V), gram	5375,98	5375,98	5375,98
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,2783	1,3186	1,2985

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Diameter silinder (d), cm	15,05	15,05	15,05
Tinggi silinder (t), cm	30,22	30,22	30,22
Berat tabung (W1), gram	10561	10561	10561
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19169	19114	19142
Berat agregat (W3), gram	8608	8553	8581
Volume tabung (V), gram	5375,98	5375,98	5375,98
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,6012	1,5910	1,5961

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapat nilai rata-rata dari berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,3 gram/cm³ dan nilai rata-rata dari berat volume padat agregat kasar sebesar 1,6 gram/cm³.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada SNI 2834-2000. Mutu rencana yang digunakan pada perencanaan beton sebesar 30 MPa. Perhitungan perencanaan campuran beton yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) adalah 30 MPa dan benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

2. Nilai deviasi standar (S) adalah 7 MPa, pengambilan nilai deviasi standar dari nilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
3. Nilai tambah atau *margin* (M) adalah 12 MPa
4. Nilai kuat tekan rata-rata rencana adalah 42 MPa
5. Jenis semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I merek semen gresik.
6. Jenis agregat halus yang digunakan adalah batu alami yang berasal dari merapi dan jenis agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm yang berasal dari clereng, kulon progo.
7. Bahan tambah yang digunakan sebagai *filler* dari berat semen yaitu serbuk marmer yang berasal dari solo marmer grup dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%.
8. Menentukan faktor air semen (FAS) dengan menggunakan Tabel 5.14 dan Gambar 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang Dipakai di Indonesia

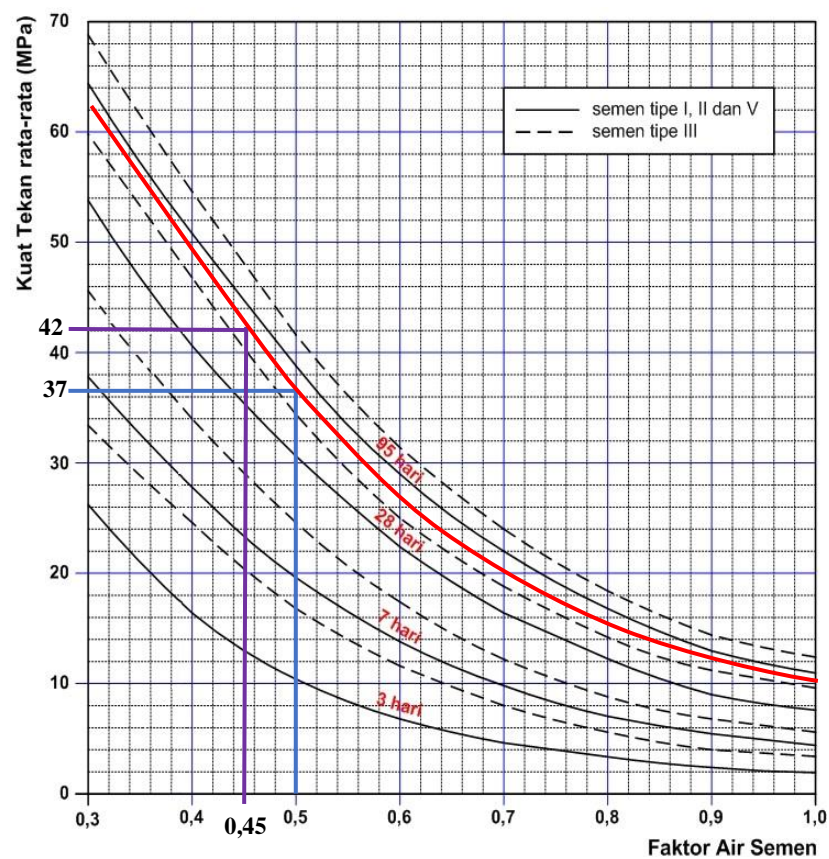
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (Mpa)				Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	49	
Semen Portland Tipe I, atau Semen Tahan Sulfat Tipe II.V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	0	40	53	60	

Sumber: SNI 2834-2000

- a. Jenis semen yang digunakan adalah jenis semen *Portland* tipe I, jenis agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah, kuat tekan pada umur 28 hari dengan benda uji silinder. Maka dilihat dari Tabel 5.21 didapat perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa.
- b. Menarik garis vertikal ke atas dengan acuan 0,5 dan menarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan 37 MPa sampai

mendapatkan titik perpotongan dari kedua garis tersebut, dan selanjutnya buat kurva baru yang memotong titik perpotongan.

- c. Setelah dibuat kurva acuan baru, selanjutnya dapat ditarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan rencana yaitu 42 MPa hingga memotong kurva acuan tersebut. Setelah garis menyentuh kurva, selanjutnya yaitu tarik garis ke arah vertikal ke bawah hingga menyentuh sumbu x. Sehingga akan didapatkan nilai fas sebesar 0,45.



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

Sumber: SNI 2834-2000

9. Menentukan kadar air yang diperlukan dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: SNI 2834-2000

Ukuran butir agregat maksimum yang digunakan sebesar 20 mm dan nilai slump yang digunakan sebesar 60-180 mm. Sehingga nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus didapatkan sebesar (W_h) 195 dan untuk agregat kasar sebesar (W_k) 225. Perhitungan dari kadar air yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \left(\frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 \right) \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

10. Menentukan jumlah semen minimum dan nilai FAS maksimum yang dapat ditentukan pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5. 16 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52

Lanjutan Tabel 5. 16 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI 2834-2000

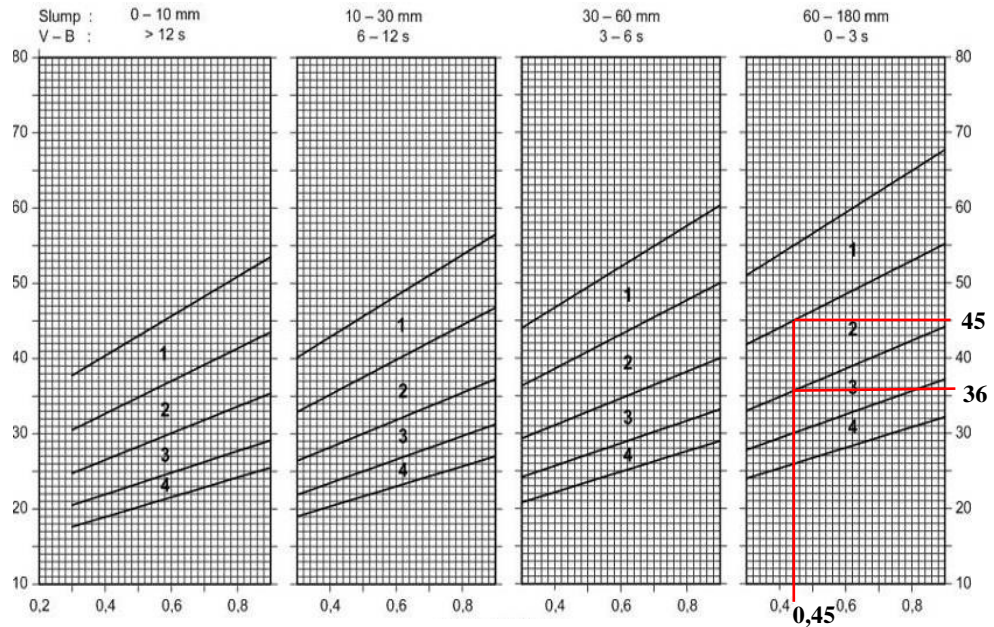
Jenis pembetonan yang akan digunakan adalah beton yang berada di dalam ruangan bangunan dengan keadaan keliling non-korosif. Sehingga berdasarkan pada Tabel 5.23 didapatkan jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m³ dan nilai FAS maksimum sebesar 0,60.

11. Menentukan kadar semen yang digunakan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{w}{FAS} \\
 &= \frac{205}{0,45} \\
 &= 451 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

12. Menentukan persentase dari butir agregat kasar dan agregat halus mengacu pada nilai *slump* rencana sebesar 60-180 mm, nilai faktor air semen sebesar 0,45 dan ukuran butir maksimum sebesar 20 mm serta gradasi agregat halus yang masuk dalam gradasi II maka dapat diperoleh persentase batas atas dan

bawah agregat halus sebesar 45% dan 36% yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dibawah ini.



Gambar 5. 6 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Butir Maksimum 20 mm

Sumber: SNI 2834-2000

Dari Gambar 5.6 diatas diperoleh persentase batas atas dan batas bawah. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{ Ag. Halus} &= \frac{45\% + 36\%}{2} \\ &= 40,59\% \end{aligned}$$

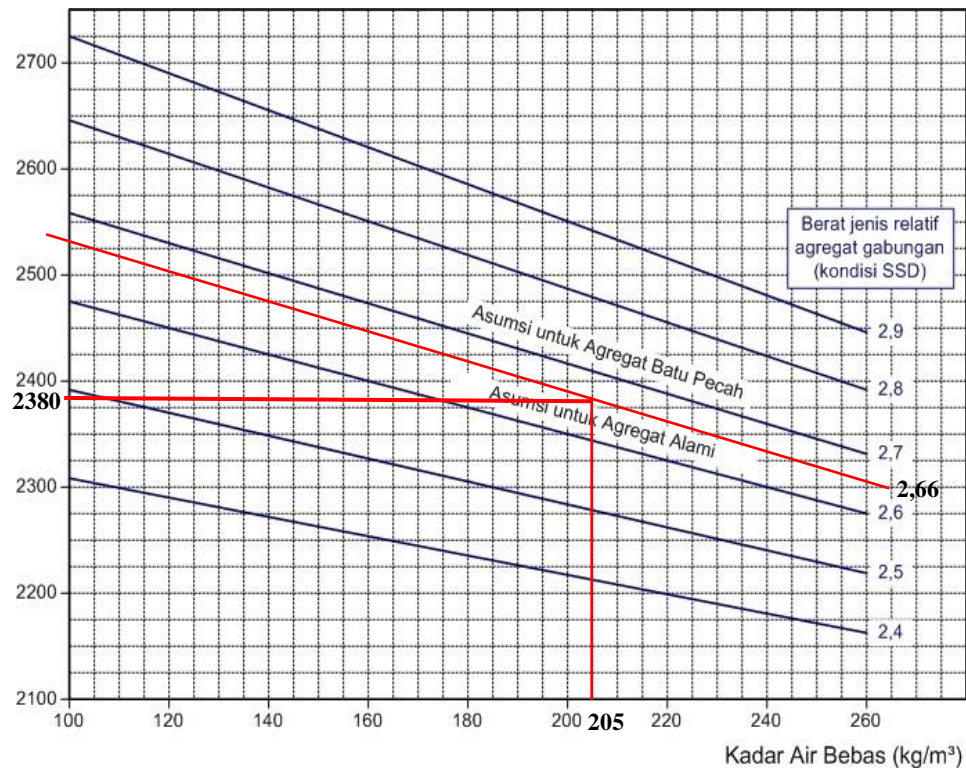
Sedangkan persentase dari agregat kasar berdasarkan persamaan didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{ Ag. Kasar} &= 100\% - \% \text{ Ag. Halus} \\ &= 100\% - 40,36\% \\ &= 59,41\% \end{aligned}$$

13. Menghitung berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

$$\begin{aligned} B_{J_{\text{Ag.Gabungan}}} &= (\% \text{ Ag. Halus} \times B_{J_{\text{Ag.Halus}}}) + (\% \text{ Ag. Kasar} \times B_{J_{\text{Ag.Kasar}}}) \\ &= (40,59\% \times 2,68) + (59,41\% \times 2,64) \\ &= 2,66 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat isi volume beton yang dapat ditentukan berdasarkan Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan

Sumber: SNI 2834-2000

Berdasarkan Gambar 5.9 diatas diperoleh nilai berat isi beton basah sebesar 2380 kg/m^3 .

15. Menghitung kadar agregat gabungan dalam campuran beton dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Gabungan}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \\ &= 2380 - 451 - 205 \\ &= 1724 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Menghitung kadar agregat halus dan kadar agregat kasar dalam campuran beton dengan perhitungan sebagai berikut.

$$W_{\text{Ag.Halus}} = \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{Ag.Gabungan}}$$

$$\begin{aligned}
&= 40,59\% \times 1724 \\
&= 700 \text{ kg/m}^3 \\
W_{\text{Ag.Kasar}} &= W_{\text{Ag.Gabungan}} - W_{\text{Ag.Halus}} \\
&= 1724 - 700 \\
&= 1024
\end{aligned}$$

17. Proporsi campuran per 1 m³ beton.

Berdasarkan perencanaan campuran beton didapatkan perhitungan proporsi tiap material per 1 m³ beton sebagai berikut.

- a. Air = 205 liter
- b. Semen = 451 kg
- c. Agregat halus = 700 kg
- d. Agregat kasar = 1024 kg

18. Proporsi campuran per 1 m³ beton dengan angka penyusutan.

Berdasarkan perencanaan campuran beton didapatkan perhitungan proporsi tiap material per 1 m³ beton dengan angka penyusutan sebesar 20% sebagai berikut.

- a. Air = 246 liter
- b. Semen = 541 kg
- c. Agregat halus = 840 kg
- d. Agregat kasar = 1229 kg

19. Hasil perencanaan campuran beton (*Mix Design*)

Berikut adalah hasil rekapitulasi perencanaan campuran beton (*Mix Design*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.17 dibawah ini.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar deviasi	7	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu alami	
7	Jenis Agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,45	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS yang digunakan	0,45	
11	Nilai <i>Slump</i>	10±2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	451	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	451	kg/m ³
18	FAS disesuaikan	0,45	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,68	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,64	
22	Persentase agregat halus	40,59	%
23	Persentase agregat kasar	59,41	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,66	
25	Berat isi beton	2380	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1724	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	700	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1024	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	541	kg/m ³
30	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	840	kg/m ³
31	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1229	kg/m ³
32	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³

20. Volume benda uji

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan sebanyak 5 buah silinder dan kubus sebanyak 3 buah di setiap proporsi campuran setiap variasi.

$$\begin{aligned}\text{Volume 5 silinder (D = 0,15 m; t = 0,30 m)} &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,02651 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume 3 kubus (s = 0,15m)} &= 3 \times s \times s \times s \\ &= 3 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,010125 \text{ m}^3\end{aligned}$$

21. Proporsi campuran untuk setiap kali *mixing*

a. Proporsi campuran untuk *mixing* 5 silinder

- 1) Semen = 14,338 kg
- 2) Air = 6,521 liter
- 3) Agregat halus = 22,259 kg
- 4) Agregat kasar = 32,574 kg

b. Proporsi campuran untuk *mixing* 3 kubus

- 1) Semen = 4,726 kg
- 2) Air = 2,491 liter
- 3) Agregat halus = 9,125 kg
- 4) Agregat kasar = 12,575 kg

Adapun contoh perhitungan untuk mencari kadar serbuk marmer untuk benda uji silinder pada variasi penambahan 5% terhadap berat semen sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Marmer 5\%} &= \text{Berat Semen} \times 5\% \\ &= 14,338 \times 5\% \\ &= 0,717 \text{ kg}\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk mencari kadar serbuk marmer pada setiap variasi penambahan. Adapun rekapitulasi proporsi campuran pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Proporsi Campuran Beton Silinder dengan Bahan Tambah Serbuk Marmer

Kadar Serbuk Marmer	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Serbuk Marmer (kg)
0%	14,338	6,521	22,259	32,574	0
5%	14,338	6,521	22,259	32,574	0,717
10%	14,338	6,521	22,259	32,574	1,434
15%	14,338	6,521	22,259	32,574	2,151
20%	14,338	6,521	22,259	32,574	2,867
Jumlah	71,688	32,603	111,294	162,872	7,169

Tabel 5. 19 Proporsi Campuran Beton Kubus dengan Bahan Tambah Serbuk Marmer

Kadar Serbuk Marmer	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Serbuk Marmer (kg)
0%	4,726	2,491	9,125	12,575	0
5%	4,726	2,491	9,125	12,575	0,236
10%	4,726	2,491	9,125	12,575	0,473
15%	4,726	2,491	9,125	12,575	0,709
20%	4,726	2,491	9,125	12,575	0,945
Jumlah	23,631	12,453	45,623	62,876	2,363

5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial*

Pada penelitian ini dilakukan pengujian *trial* yang bertujuan untuk mengetahui campuran yang direncanakan sesuai dengan persyaratan yang sudah ditentukan. Benda uji *trial* yang digunakan yaitu 3 buah sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sebelum dilakukan pengujian permukaan benda uji perlu diberi lapisan *capping* agar permukaan benda uji rata. Pengujian benda uji *trial* dilakukan pada umur beton 7 hari. Berikut perhitungan kuat tekan benda uji *trial*.

Kuat tekan beton *trial* umur 7 hari

$$\begin{aligned}
 \text{a. } f'_{c_{\text{aktual}}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{(P \times 1000)}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{(359,05 \times 1000)}{17671,459}
 \end{aligned}$$

$$= 20,149 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } f'_{C_{\text{terkonversi}}} &= f'_{C_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\ &= 20,149 \times \frac{1}{0,65} \\ &= 30,997 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi hasil dari pengujian benda uji *trial* yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Uji *Trial* 7 Hari

No.	Kode	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Mutu rencana (MPa)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Angka Konversi Umur Uji	Konversi 28 Hari (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
1	T1	15	17671,459	30	329,98	18,674	0,65	28,728	33,012
2	T2	15	17671,459	30	451,54	25,552	0,65	39,311	
3	T3	15	17671,459	30	356,05	20,149	0,65	30,997	

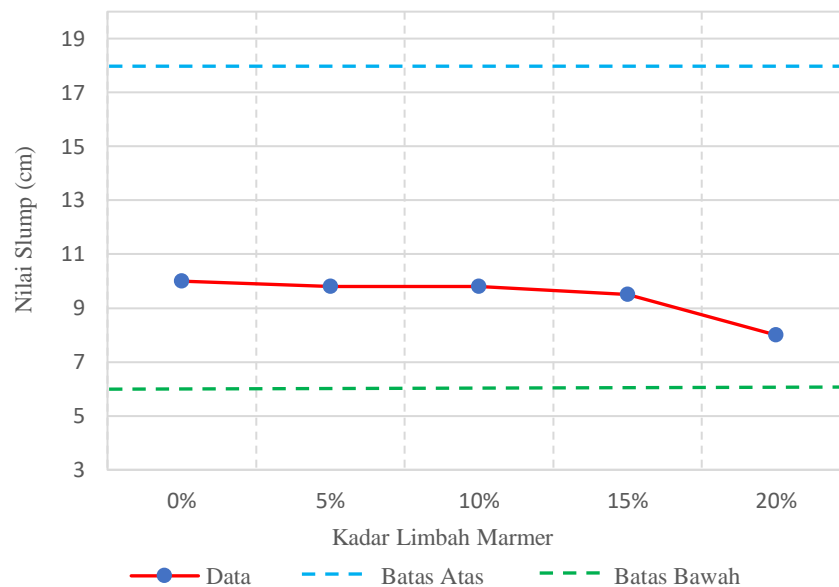
Berdasarkan Tabel 5.20 diatas, maka didapatkan hasil rata-rata dari pengujian benda uji *trial* yang dilakukan sebesar 33,012 MPa, maka hasil tersebut telah memenuhi mutu rencana yaitu 30 MPa. Sehingga, penelitian ini dapat dilanjutkan untuk tahap selanjutnya.

5.5 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Pengujian nilai *slump* dilakukan pada campuran beton segar yang sudah tercampur merata. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur tingkat kemudahan pengerjaan *workability* pada beton. Hasil dari pengujian nilai *slump* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 21 Hasil Pengujian Nilai Slump

Kadar Serbuk Marmer	Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180 mm)
0%	10	Memenuhi
5%	9,8	Memenuhi
10%	9,8	Memenuhi
15%	9,5	Memenuhi
20%	8	Memenuhi



Gambar 5. 8 Grafik Pengujian Nilai Slump

Berdasarkan Tabel 5.21 dan Gambar 5.8 diatas, didapatkan bahwa hasil pengujian nilai *slump* terbesar terdapat pada campuran beton dengan variasi 0% atau tanpa variasi serbuk marmer yaitu sebesar 10 cm. Sedangkan nilai *slump* terendah terdapat pada campuran beton dengan variasi serbuk marmer 20%. Pada hasil diatas dapat dilihat dengan adanya penambahan serbuk marmer dapat menurunkan nilai *slump* yang dihasilkan. Dengan adanya penambahan serbuk marmer menunjukkan bahwa air yang ada di dalam campuran diserap oleh serbuk marmer dan hal itu dapat mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*).

5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton adalah proses yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan beton terhadap suatu beban. Kuat tekan beton adalah salah satu parameter yang penting dalam desain suatu struktur bangunan. Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton yang sudah berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 5 sampel di setiap variasi, total sampel keseluruhan pada pengujian kuat tekan beton sebanyak 25 buah sampel silinder beton. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu benda uji diberikan lapisan belerang pada permukaan beton. Proses ini dinamakan *capping* yang bertujuan untuk membuat permukaan beton rata, sehingga beban yang dihasilkan dari *compression machine* terdistribusi secara merata. Pengujian ini dilakukan sampai benda uji hancur, yang artinya tidak mampu lagi untuk menahan beban dari mesin uji. Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton antara lain sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton dengan kadar serbuk marmer 0% sampel 1

$$\begin{aligned} f'_{C_{\text{aktual}}} &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\ &= \frac{(P \times 1000)}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{(530 \times 1000)}{17907,8635} \\ &= 29,595 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_{C_{\text{terkonversi}}} &= f'_{C_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\ &= 29,915 \text{ MPa} \times \frac{1}{1} \\ &= 29,915 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, dihitung juga kuat tekan beton untuk sampel pada kadar penambahan lainnya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

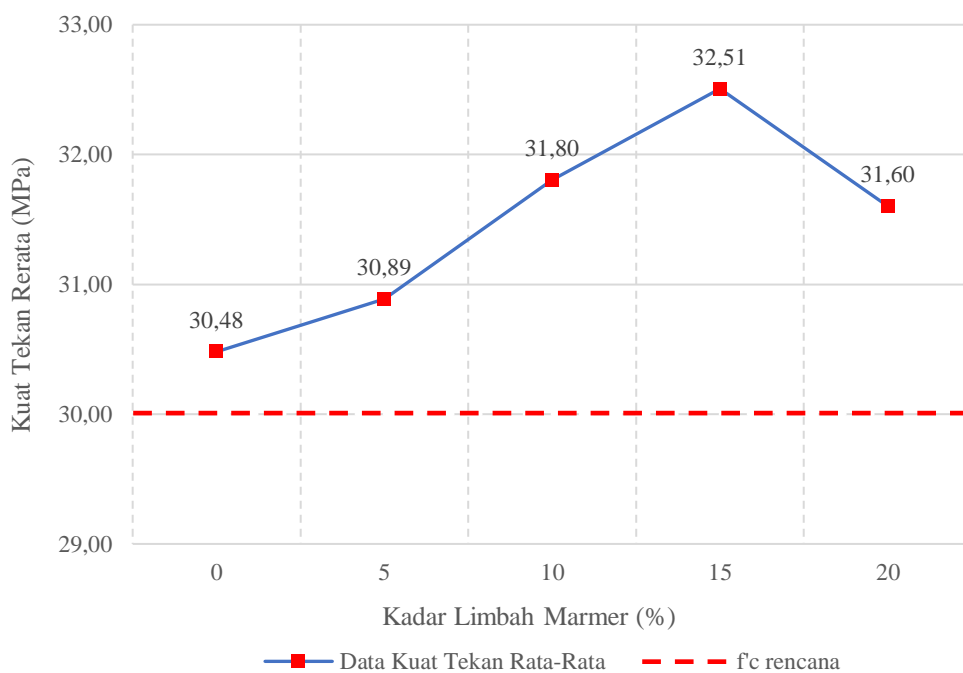
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar Serbuk Marmer	Kode Benda Uji	Umur Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
0%	B-N/1	28 Hari	151	300	17907,8635	530	29,595	30,480
	B-N/2		151	300	17907,8635	545	30,433	
	B-N/3		151	301	17907,8635	578	32,276	
	B-N/4		150	300	17671,4587	498	28,181	
	B-N/5		150	301	17671,4587	564	31,915	
5%	B-5/1		150	301	17671,4587	540	30,557	30,886
	B-5/2		151	300	17907,8635	493	27,529	
	B-5/3		150	302	17671,4587	542	30,670	
	B-5/4		150	302	17671,4587	572	32,368	
	B-5/5		148	300	17203,3614	573	33,307	
10%	B-10/1	151	300	17907,8635	578	32,276	31,804	
	B-10/2	150	302	17671,4587	610	34,518		
	B-10/3	150	300	17671,4587	534	30,218		
	B-10/4	151	300	17907,8635	545	30,433		
	B-10/5	150	298	17671,4587	558	31,576		

Lanjutan Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar Serbuk Marmar	Kode Benda Uji	Umur Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
15%	B-15/1	28 Hari	150	301	17671,4587	607	34,349	32,506
	B-15/2		150	300	17671,4587	594	33,613	
	B-15/3		150	300	17671,4587	532	30,105	
	B-15/4		149	301	17436,6246	611	35,041	
	B-15/5		150	302	17671,4587	520	29,425	
20%	B-20/1		150	300	17671,4587	560	31,689	31,604
	B-20/2		149	301	17436,6246	583	33,435	
	B-20/3		150	299	17671,4587	509	28,803	
	B-20/4		151	300	17907,8635	560	31,271	
	B-20/5		150	300	17671,4587	580	32,821	

Berdasarkan hasil rekapitulasi dari Tabel 5.22 di atas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton (MPa) dengan penambahan *filler* serbuk marmer sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% secara berturut-turut adalah sebesar 30,48 MPa, 30,89 MPa, 31,80 MPa, 32,51 MPa, dan 31,60 MPa. Dari hasil kuat tekan rata-rata di atas juga dapat diplot menjadi grafik nilai kuat tekan beton rata-rata pada setiap kadar penambahan *filler* serbuk marmer yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5. 9 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Tiap Kadar Serbuk Marmer

Pada Gambar 5.9 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan *filler* serbuk marmer dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton. Adapun persentase kenaikan kuat tekan beton dengan penambahan *filler* serbuk marmer terhadap beton tanpa penambahan *filler* serbuk marmer yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5. 23 Persentase Selisih Kenaikan Kuat tekan Beton

Kadar Serbuk Marmer	Kuat Tekan Beton Tanpa Serbuk Marmer 0% (MPa)	Kuat Tekan Beton dengan Serbuk Marmer (MPa)	Kenaikan Kekuatan (%)
5%	30,480	30,886	1,3332
10%		31,804	4,3442
15%		32,506	6,6483
20%		31,604	3,6864

Berdasarkan Tabel 5.23 dan Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya persentase kadar *filler* serbuk marmer dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton. Nilai kuat tekan rata-rata beton tertinggi terdapat pada penambahan *filler* serbuk marmer 15% dari berat semen sebesar 32,50 MPa dengan persentase kenaikan 6,64% dari beton normal atau tanpa *filler* serbuk marmer. *Filler* serbuk marmer dapat menaikkan nilai kuat tekan beton karena *filler* serbuk marmer memiliki ukuran yang lebih kecil daripada butiran agregat halus, sehingga rongga-rongga yang terdapat pada beton dapat terisi dan menjadikan beton menjadi lebih padat, di mana Agus Purwati, dkk. (2014) menjelaskan bahwa ukuran butiran agregat sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Adapun pada penambahan *filler* serbuk marmer 20% mengalami penurunan nilai kuat tekan, karena dengan adanya penambahan *filler* yang berlebihan dapat mengakibatkan campuran beton kekurangan air sehingga campuran beton menjadi getas dan material pada campuran tidak dapat mengikat antara satu dengan yang lainnya, hal ini dapat menimbulkan rongga-rongga pada beton lebih banyak.

5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya perubahan antara panjang (regangan) dengan arah longitudinal (aksial) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban (P) pada saat beton mulai retak. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan

tinggi 30 cm yang sudah mencapai umur 28 hari sebanyak 5 buah di setiap variasi. Adapun perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban mencapai 10 kN pada pengujian modulus elastisitas beton dengan kadar penambahan *filler* serbuk marmer 0% sampel 1 antara lain sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai ΔL

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{6}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,003 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,003}{200} \\ &= 0,000015\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{1000}{17907,8635} \\ &= 0,55841 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, dihitung juga nilai tegangan dan regangan untuk setiap nilai penambahan beban 10 kN untuk sampel pada kadar penambahan lainnya. Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton dengan kadar 0% dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5. 24 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Kadar Serbuk Marmer 0%

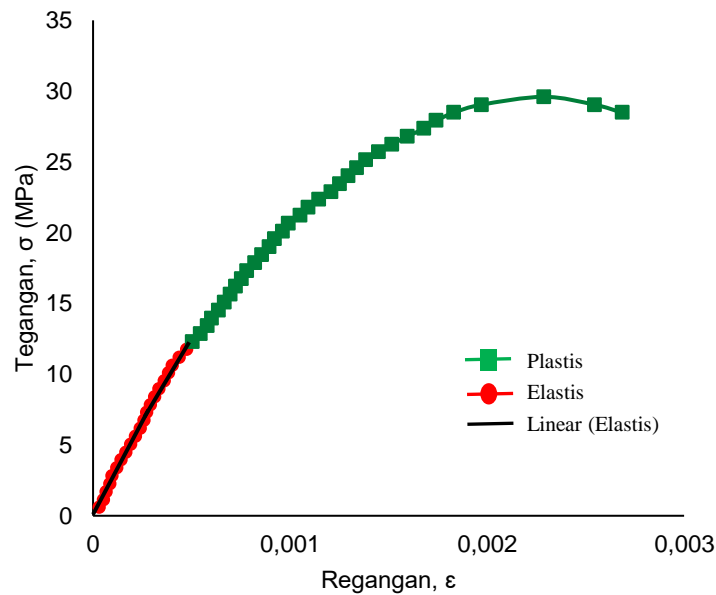
Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	6	0,00300	0,00002	0,55841
20	20000	15	0,00750	0,00004	1,11683
30	30000	20	0,01000	0,00005	1,67524
40	40000	28	0,01400	0,00007	2,23366
50	50000	32	0,01600	0,00008	2,79207
60	60000	42	0,02100	0,00011	3,35048
70	70000	51	0,02550	0,00013	3,90890
80	80000	60	0,03000	0,00015	4,46731
90	90000	70	0,03500	0,00018	5,02573
100	100000	80	0,04000	0,00020	5,58414
110	110000	89	0,04450	0,00022	6,14255
120	120000	97	0,04850	0,00024	6,70097
130	130000	103	0,05150	0,00026	7,25938
140	140000	110	0,05500	0,00028	7,81779
150	150000	119	0,05950	0,00030	8,37621
160	160000	127	0,06350	0,00032	8,93462
170	170000	138	0,06900	0,00035	9,49304
180	180000	147	0,07350	0,00037	10,05145
190	190000	155	0,07750	0,00039	10,60986
200	200000	169	0,08450	0,00042	11,16828
210	210000	184	0,09200	0,00046	11,72669
220	220000	195	0,09750	0,00049	12,28511
230	230000	211	0,10550	0,00053	12,84352
240	240000	225	0,11250	0,00056	13,40193
250	250000	234	0,11700	0,00059	13,96035
260	260000	248	0,12400	0,00062	14,51876
270	270000	260	0,13000	0,00065	15,07718
280	280000	271	0,13550	0,00068	15,63559
290	290000	282	0,14100	0,00071	16,19400
300	300000	294	0,14700	0,00074	16,75242
310	310000	305	0,15250	0,00076	17,31083
320	320000	321	0,16050	0,00080	17,86924

**Lanjutan Tabel 5. 24 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton
Kadar Serbuk Marmer 0%**

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
330	330000	335	0,16750	0,00084	18,42766
340	340000	350	0,17500	0,00088	18,98607
350	350000	361	0,18050	0,00090	19,54449
360	360000	378	0,18900	0,00095	20,10290
370	370000	390	0,19500	0,00098	20,66131
380	380000	413	0,20650	0,00103	21,21973
390	390000	430	0,21500	0,00108	21,77814
400	400000	451	0,22550	0,00113	22,33656
410	410000	476	0,23800	0,00119	22,89497
420	420000	493	0,24650	0,00123	23,45338
430	430000	511	0,25550	0,00128	24,01180
440	440000	528	0,26400	0,00132	24,57021
450	450000	546	0,27300	0,00137	25,12863
460	460000	572	0,28600	0,00143	25,68704
470	470000	600	0,30000	0,00150	26,24545
480	480000	631	0,31550	0,00158	26,80387
490	490000	665	0,33250	0,00166	27,36228
500	500000	690	0,34500	0,00173	27,92070
510	510000	725	0,36250	0,00181	28,47911
520	520000	781	0,39050	0,00195	29,03752
530	530000	908	0,45400	0,00227	29,59594
520	520000	1011	0,50550	0,00253	29,03752
510	510000	1067	0,53350	0,00267	28,47911

Dari hasil perhitungan tegangan dan regangan beton pada Tabel 5.24 di atas juga dapat diplot menjadi grafik tegangan dan regangan beton. Nilai modulus elastisitas didapatkan dari kemiringan kurva regresi (*linear trendline*) pada daerah elastis. Menurut Nawy (2010) daerah linier masih terjadi hingga tegangan mencapai nilai $0,40 f'_c$ maksimum, maka batas dari kurva regresi linier yang digunakan adalah dari tegangan saat beban 10 kN hingga tegangan saat $0,40 f'_c$ maksimum. Adapun grafik modulus elastisitas variasi kadar serbuk marmer 5%

sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5. 10 Grafik Modulus Elastisitas Kadar *Filler* Serbuk Marmer 0% Sampel 1

Berdasarkan Gambar 5.10 didapatkan daerah plastis dan daerah elastis. Pada penelitian ini persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton adalah persamaan ASTM C-469 (1994). Adapun contoh perhitungannya antara lain sebagai berikut.

$$S_2 = 11,726 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 1,675 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_1 = 0,00046$$

$$\epsilon_2 = 0,00005$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{11,726 - 1,675}{0,00046 - 0,00005} \\ &= 24515,7324 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Nilai modulus elastisitas juga dapat dihitung menggunakan persamaan pendekatan empiris dari SNI 2847-2019 Pasal 19.2.2. Adapun contoh perhitungannya antara lain sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2399,6042^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{29,595} \\
 &= 27497,5454 \\
 \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{29,595} \\
 &= 25569,0095
 \end{aligned}$$

Adapun hasil rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton dengan rumus persamaan dari ASTM C-469 dan persamaan pendekatan empiris dari SNI 2847-2019 yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

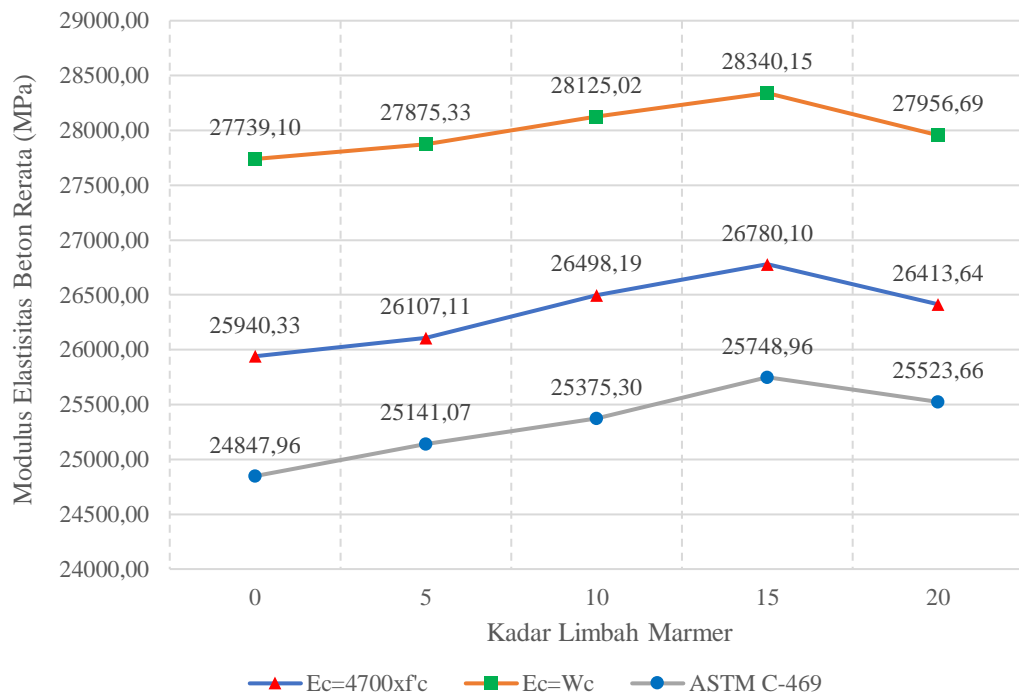
Tabel 5. 25 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

Kadar Filler Serbuk Marmer	Kode Benda Uji	Umur Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat Tekan (MPa)	ASTM C-469 ($E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = Wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$)	Rerata
0%	M-N/1	28 Hari	151	300	2399,6042	29,60	24515,7324	24847,9628	25569,00951	25940,331	27497,54539	27739,1012
	M-N/2		151	300	2375,5802	30,43	25112,1046		25928,31063		27466,25043	
	M-N/3		151	301	2352,8389	32,28	25674,20253		26701,76007		27880,38472	
	M-N/4		150	298	2391,9786	28,18	23215,76378		24950,33204		26704,40242	
	M-N/5		150	301	2432,6555	31,92	25722,011		26552,24277		29146,92333	
5%	M-5/1		150	301	2395,9766	30,56	24575,54423	25141,0652	25981,16004	26107,1132	27877,44688	27875,3254
	M-5/2		151	300	2356,7708	27,53	23670,97483		24660,36098		25813,4494	
	M-5/3		150	302	2361,7966	30,67	25464,79089		26029,22883		27333,52408	
	M-5/4		150	302	2351,2980	32,37	25868,99392		26739,89346		27892,77915	
	M-5/5		148	300	2469,7619	33,31	26125,02246		27124,92293		30459,4277	
10%	M-10/1	151	300	2389,3614	32,28	25527,4928	25375,3017	26701,76007	26498,1886	28532,06878	28125,0228	
	M-10/2	150	302	2397,7916	34,52	26212,543		27613,82548		29662,9482		
	M-10/3	150	300	2369,9929	30,22	24693,13056		25836,41708		27272,40628		
	M-10/4	151	300	2354,3498	30,43	24818,39578		25928,31063		27098,87668		
	M-10/5	150	298	2380,1992	31,58	25624,94681		26410,6298		28058,81425		

Lanjutan Tabel 5.25 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas Beton

Kadar Filler Serbuk Marmer	Kode Benda Uji	Umur Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat Tekan (MPa)	ASTM C-469 ($E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = Wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)	Rerata
15%	M-15/1	28 Hari	150	301	2355,3477	34,35	26855,52335	25748,9558	27545,83893	26780,1032	28807,73709	28340,1545
	M-15/2		150	300	2382,6374	33,61	26262,03113		27249,27054		28994,28571	
	M-15/3		150	300	2386,9781	30,11	24252,1818		25787,98888		27514,44221	
	M-15/4		149	301	2387,8317	35,04	26830,66633		27821,93002		29700,47732	
	M-15/5		150	302	2356,5473	29,43	24544,37677		25495,48806		26683,83014	
20%	M-20/1	28 Hari	150	300	2377,3531	31,69	25298,35435	25523,6616	26457,91834	26413,6402	28058,65305	27956,6889
	M-20/2		149	301	2415,6637	33,44	26830,66633		27176,96319		29520,6718	
	M-20/3		150	299	2357,6583	28,80	24201,33866		25224,38285		26418,76136	
	M-20/4		151	300	2351,7425	31,27	25565,93782		26282,70034		27423,64838	
	M-20/5		150	300	2366,5959	32,82	25722,011		26926,23644		28361,71006	

Dari hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton pada Tabel 5.25 di atas juga dapat diplot menjadi grafik modulus elastisitas beton. Adapun grafik modulus elastisitas beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



Gambar 5. 11 Grafik Modulus Elastisitas Beton

Adapun persentase selisih nilai modulus elastisitas sesuai dengan metode persamaan yang digunakan yaitu ASTM C-469 dan SNI 2847-2019 pada beton yang memiliki kadar *filler* serbuk marmer maupun tanpa kadar *filler* serbuk marmer yang dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5. 26 Hasil Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kadar Serbuk Marmer	Persentase Selisih Nilai Modulus Elastisitas (%)		
	ASTM C-469 ($E_c = \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	SNI 2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$)	SNI 2847-2019 ($E_c = W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$)
0%	0	0	0
5%	1,180%	2,420%	0,491%

Lanjutan Tabel 5. 26 Hasil Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kadar Serbuk Marmer	Persentase Selisih Nilai Modulus Elastisitas (%)		
	ASTM C-469 ($E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	SNI 2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$)	SNI 2847-2019 ($E_c = Wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)
10%	2,122%	3,954%	1,391%
15%	3,626%	5,060%	2,167%
20%	2,719%	3,622%	0,784%

Berdasarkan hasil dari Tabel 5.26 dan Gambar 5.11 di atas dapat diketahui pengujian nilai modulus elastisitas yang didapat dari persamaan ASTM C-469 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan persamaan dari SNI 2847-2019. Pada metode SNI menggunakan nilai kuat tekan dan berat beton untuk menghitung metode analisis, sedangkan pada metode ASTM C-469 untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas diperoleh dari kondisi yang terjadi selama pengujian kuat tekan beton. Nilai modulus elastisitas beton akan meningkat seiring dengan peningkatan yang dialami kuat tekan. Pada pengujian yang dilakukan nilai modulus elastisitas beton tertinggi terdapat pada beton dengan penambahan kadar *filler* serbuk marmer 15%. Penambahan kadar *filler* serbuk marmer menjadikan beton semakin kompak sehingga menambah nilai modulus elastisitas beton tersebut. Kecenderungan penurunan nilai modulus elastisitas pada beton disebabkan akibat campuran antar material yang kurang mengikat, sehingga material beton lebih mudah meregang apabila diberikan beban, seperti pada penambahan kadar *filler* serbuk marmer 20% yang mengalami penurunan. Hal ini, disebabkan karena beton tersebut memiliki kandungan serbuk marmer yang berlebih sehingga membuat campuran beton kekurangan air untuk proses hidrasi dan kemampuan semen untuk dapat mengikat berkurang maka regangan yang terjadi pada beton tersebut akan semakin besar, sehingga nilai modulus elastisitas beton menjadi berkurang.

5.8 Hasil Pengujian Absorpsi

Pengujian absorpsi dilakukan untuk mengukur jumlah air yang diserap oleh

beton dengan cara membandingkan berat beton yang sudah direndam dalam kondisi jenuh kering permukaan dan berat beton dalam kondisi kering oven. Proses pengujian ini yaitu dengan cara memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, lalu benda uji dapat dikeluarkan dari oven dan dapat dilakukan penimbangan guna mendapatkan hasil berat sampel dengan keadaan kering oven. Selanjutnya, sampel direndam kembali selama 48 jam dan setelah itu sampel dapat dikeluarkan dan dapat dikeringkan dengan menggunakan kain kering agar permukaan sampel lembab. Setelah itu, sampel dapat dilakukan penimbangan untuk mendapatkan hasil berat sampel dengan keadaan kering permukaan. Adapun contoh perhitungan pengujian absorpsi antara lain sebagai berikut.

Pengujian absorpsi dengan kadar penambahan serbuk marmer 0% sampel 1

$$\begin{aligned}
 P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\
 &= \frac{8,00-7,82}{7,82} \times 100 \\
 &= 2,249 \%
 \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, dihitung juga nilai absorpsi beton untuk sampel pada kadar penambahan lainnya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian absorpsi beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 antara lain sebagai berikut.

Tabel 5. 27 Hasil Rekapitulasi Pengujian Absorpsi Beton

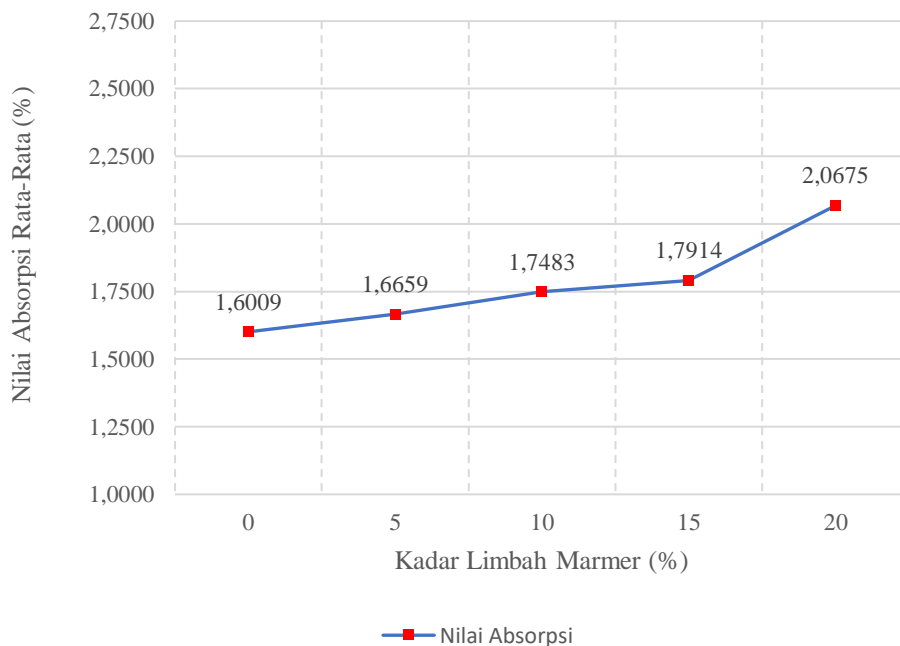
Kadar Serbuk Marmer	Umur Uji	Kode Benda Uji	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rata-Rata
0%	28 Hari	AB-N/1	7,82	8,00	2,249	1,6009
		AB-N/2	7,65	7,75	1,373	
		AB-N/3	7,80	7,89	1,180	
5%		AB-5/1	7,42	7,55	1,766	1,6659
		AB-5/2	8,11	8,24	1,603	
		AB-5/3	7,98	8,11	1,629	

10%		AB-5/1	8,21	8,35	1,705	1,7483
		AB-5/2	7,68	7,81	1,653	
		AB-5/3	7,95	8,10	1,887	

Lanjutan Tabel 5. 27 Hasil Rekapitulasi Pengujian Absorpsi Beton

Kadar Serbuk Marmer	Umur Uji	Kode Benda Uji	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi	Absorpsi Rata-Rata
15%	28 Hari	AB-10/1	7,46	7,58	1,621	1,7914
		AB-10/2	8,15	8,30	1,840	
		AB-10/3	8,00	8,15	1,913	
20%		AB-15/1	8,08	8,20	1,485	2,0675
		AB-15/2	7,97	8,15	2,258	
		AB-15/3	7,81	8,00	2,459	

Dari hasil rekapitulasi perhitungan absorpsi beton pada Tabel 5.27 di atas juga dapat diplot menjadi grafik absorpsi beton. Adapun grafik absorpsi beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5. 12 Grafik Absorpsi Beton

Pada Gambar 5.12 menunjukkan bahwa seiring dengan adanya penambahan *filler* serbuk marmer maka nilai absorpsi pada beton tersebut akan terus meningkat. Adapun persentase kenaikan nilai absorpsi beton dengan penambahan *filler* serbuk marmer terhadap beton tanpa penambahan *filler* serbuk marmer yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 sebagai berikut.

Tabel 5. 28 Persentase Selisih Kenaikan Kuat Tekan Beton

Kadar Serbuk Marmer	Absorpsi Beton Tanpa Serbuk Marmer 0% (MPa)	Absorpsi Beton dengan Serbuk Marmer (MPa)	Kenaikan Kekuatan (%)
5%	1,6009	1,6659	4,06
10%		1,7483	9,21
15%		1,7914	11,90
20%		2,0675	29.15

Berdasarkan Tabel 5.28 dan Gambar 5.12 di atas bahwa nilai absorpsi beton rata-rata dengan kadar penambahan *filler* serbuk marmer 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% secara berturut-turut sebesar 1,60%, 1,66%, 1,74%, 1,79%, dan 2,06%. Nilai absorpsi beton rata-rata tertinggi terdapat pada penambahan kadar *filler* serbuk marmer sebesar 20% dengan nilai 2,067 dari beton tanpa bahan tambah *filler* serbuk marmer. Penambahan serbuk marmer sebagai *filler* sangat berpengaruh dengan nilai absorpsi pada beton. Nilai absorpsi beton akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya persentase jumlah kadar penambahan serbuk marmer. Hal ini disebabkan akibat sifat daya serap yang tinggi terhadap air dari serbuk marmer.

5.9 Pembahasan Keseluruhan

Berdasarkan penjelasan mengenai hasil dari pengujian yang telah dilakukan dan dijelaskan diatas, maka dapat diketahui bahwa pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton persentase penambahan kadar serbuk marmer paling tinggi terdapat pada persentase 15% dan dapat diambil kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan kadar serbuk marmer yang digunakan sebagai *filler* dapat

mempengaruhi sifat mekanik pada beton. Peningkatan ini disebabkan oleh serbuk marmer yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari agregat yang dapat mengisi rongga-rongga pada beton, sehingga beton menjadi semakin padat. Penelitian sebelumnya juga sudah dilakukan hal serupa dengan persentase penambahan serbuk marmer sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur. Hasil penelitian sebelumnya didapatkan persentase tertinggi yaitu sebesar 15%, namun pada penelitian sebelumnya hasil nilai kuat tekan tidak memenuhi rencana. Sehingga pada penelitian ini penulis ingin mengkaji ulang apakah persentase tersebut sudah optimum apabila mutu sudah memenuhi rencana. Melihat dari hasil penelitian ini, beton mengalami peningkatan pada persentase 15% dengan mutu yang sudah memenuhi rencana. Namun beton dengan persentase diatas 15% mengalami penurunan kekuatan. Menurut Widodo, dkk. (2018) penurunan ini diakibatkan oleh jumlah tepung yang berlebihan yang justru bertindak sebagai pengotor dalam campuran dan menghalangi pengikatan yang terjadi antara pasta semen dengan agregat

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapat antara lain sebagai berikut.

1. Hasil pada pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar serbuk marmer sebagai *filler* pada persentase 15% memiliki nilai rata-rata paling tinggi sebesar 32,51 MPa. Hal ini dikarenakan serbuk marmer memiliki ukuran yang kecil dibandingkan dengan agregat halus yang dapat mengisi rongga-rongga pada beton sehingga beton menjadi lebih padat. Sedangkan hasil nilai kuat tekan pada persentase penambahan serbuk marmer sebanyak 20% mengalami penurunan.
2. Hasil Pengujian modulus elastisitas menunjukkan bahwa seiring dengan adanya penambahan serbuk marmer sebagai *filler* maka nilai modulus elastisitas juga meningkat. Nilai modulus elastisitas rata-rata tertinggi terdapat pada persentase kadar serbuk marmer 15% sebesar 25748,9558 dihitung dengan persamaan ASTM C-469. Adapun penurunan yang terjadi setelah modulus mencapai nilai optimum pada penambahan kadar serbuk marmer 20%.
3. Hasil yang didapatkan pada pengujian absorpsi bahwa peningkatan paling tinggi terdapat pada beton yang memiliki penambahan kadar serbuk marmer 20% yaitu sebesar 2,0675 dengan persentase kenaikan sebesar 29,15% dari beton tanpa penambahan serbuk marmer. Hal ini dikarenakan serbuk marmer memiliki sifat daya serap yang tinggi terhadap air.

6.2 Saran

Dari kesimpulan dan hasil pengujian yang telah dilakukan, Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* maupun substitusi dengan variasi nilai FAS .
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan serbuk marmer sebagai *filler* maupun substitusi pada mutu beton tinggi.
3. Perlu dilakukan inovasi terbaru dalam memanfaatkan serbuk marmer sebagai bahan campuran beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, C., Halim, A., & Silviana, S. (2016). Pemanfaatan Limbah Marmer dan Serbuk Silika pada Industri Bata Beton Pejal dan Berlubang. *Prosiding SENIATI*, 2011, 16–22. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/235>
- Almindo, O., Carlo, N., & Mufti Warman Hasan. (2019). PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH MARMER SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN BETON TERHADAP NILAI KUAT TEKAN. *Ejurnal.Bunghatta*, Vol. 1 No. 1 (2019): 71 *Kumpulan Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*.
- American Society for Testing and Material. (n.d.). *ASTM C-150. 1985. Standard Specification for Portland Cement*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 03-2495-1991 Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton. *Yayasan LPMB, Bandung*, 1–11.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm). *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 200(200), 1–6.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–6.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Sni 03-2834-2000*, 1–34.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 6433-2016 Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga dalam Beton Keras*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI03-4169-1996 Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton dengan Kompresor Ekstensometer*. 1–7.
- Badan Standardisasi Nasional. (n.d.). *SNI 1970-2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*.
- Badan Standardisasi Nasional. (n.d.). *SNI 4804-1998 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- Irfansyah, M. H., Rakhmawati, A., & Arnandha, Y. (2021). Studi Analisis Beton Mutu Tinggi Scc (Self Compacting Concrete) Menggunakan Campuran Limbah Marmer Dan Superplasticizer. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, 2(1), 56. <https://doi.org/10.31002/jris.v2i1.4182>
- K, T. (1992). *Teknologi Beton*. Fakultas Teknik UGM.
- Kushartomo, W., & Sari, D. P. (2018). Sifat Mekanis Beton Normal dengan Campuran Tepung Marmer. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 71. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.17525>
- Lestari, A. D. (2021). Pengujian Kuat Tekan Pada Beton Dengan Limbah Marmer Sebagai Substitusi Agregat Kasar. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 61–69. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2263>
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi.
- Nasional, B. S. (1990). SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*, 1–17.
- Nawy, & Edward. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*.
- Purwati, A., As'ad, S., & Sunarmasto. (2014). Pengaruh Ukuran Butiran Agregat Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi Grade 80. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 2(2), 61. <http://matriks.sipil.ft.uns.ac.id/index.php/MaTekSi/article/viewFile/163/159>
- Rusdianto, Y., & Munir, M. (2015). Penggunaan Limbah Marmer Sebagai Filler Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitaas pada Beton. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 13(1), 99. <https://doi.org/10.22219/jmts.v13i1.2549>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

082195571904 (Dody)

 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung 601, Blok, Negeri
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
J. Klatenray Km 14,3 Yogyakarta 55184
T. (0271) 80844 ext. 3385, 3381
F. (0271) 891220
E. fakultas@ipinik.ac.id
www.ipinik.ac.id

Nomor : 78/Sek. Prodi PSTS/20/TA/V/2023
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:
KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA	: DODY GUNAWAN
NIM	: 19511102
PROGRAM STUDI	: TEKNIK SIPIL
JUDUL TUGAS AKHIR	: PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH MARMER SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN BETON TERHADAP NILAI KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN KUAT LENTUR
DOSEN PEMBIMBING	: ASTRIANA HARDAWATI, S.T., M. ENG

Sehubungan dengan penelitian yang kami lakukan untuk proses pendukung penyelesaian penyusunan Proposal Tugas Akhir, melalui surat ini kami mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

 Sekretaris Program Sarjana Teknik Sipil,
DIRIA ANGGRAHENI, M. ENG

Yogyakarta, 8 Mei 2023
Pemohon

DODY GUNAWAN
IM. 19511258

Lampiran 2 Gambar Alat yang digunakan



Gambar L-2. 1 Timbangan



Gambar L-2. 2 Oven



Gambar L-2. 3 Saringan Agregat Halus dan Saringan Agregat Kasar



Gambar L-2. 4 Piknometer



Gambar L-2. 5 Pan



Gambar L-2. 6 Kerucut Abram



Gambar L-2. 7 Kuas





Gambar L-2. 8 Cetakan Silinder dan Cetakan Kubus



Gambar L-2. 9 Cetakan Silinder dan Cetakan Kubus



Gambar L-2. 10 Mesin Kuat Tekan Beton



Gambar L-2. 11 Semen Portland Tipe I Merk Gresik



Gambar L-2. 12 Agregat Kasar



Gambar L-2. 13 Agregat Halus



Gambar L-2. 14 Limbah Marmer



Gambar L-2. 15 Persiapan Alat dan Bahan



Gambar L-2. 16 Proses Pembuatan Campuran Beton



Gambar L-2. 17 Proses Pengujian Nilai Slump



Gambar L-2. 18 Proses Penuangan Campuran Beton Kedalam Cetakan



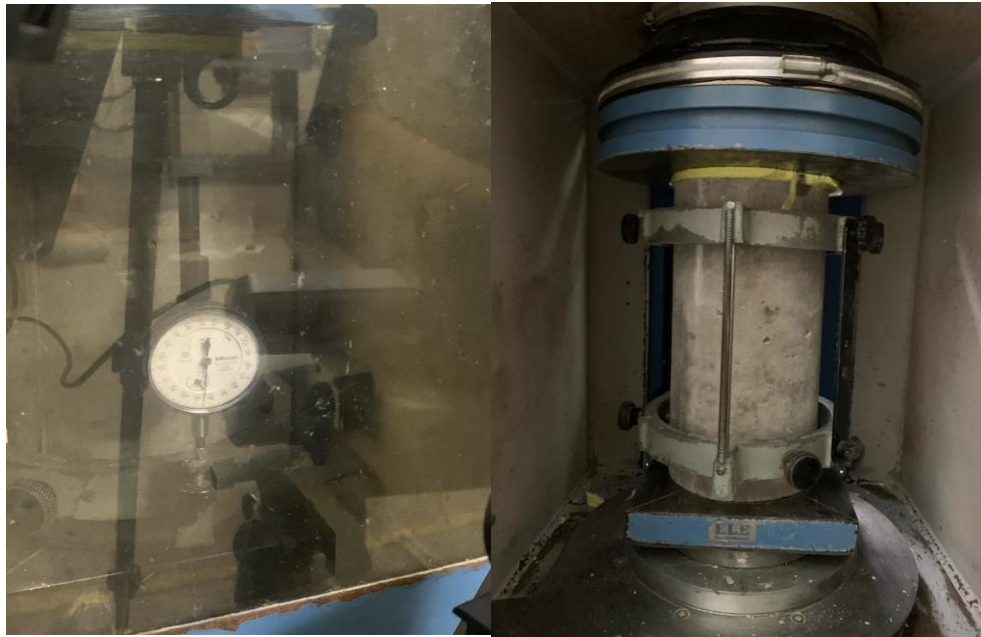
Gambar L-2. 19 Proses Pengerasan Campuran Beton



Gambar L-2. 20 Proses Perendaman / Perawatan Benda Uji



Gambar L-2. 21 Proses Capping Benda Uji



Gambar L-2. 22 Proses Pengujian Benda Uji

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Material

Tabel L-3. 1 Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 1	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	489	489.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	982	977	979.5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	666	666	666
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2.663	2.587	2.625
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2.717	2.646	2.681
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2.816	2.747	2.782
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2.041	2.249	2.145

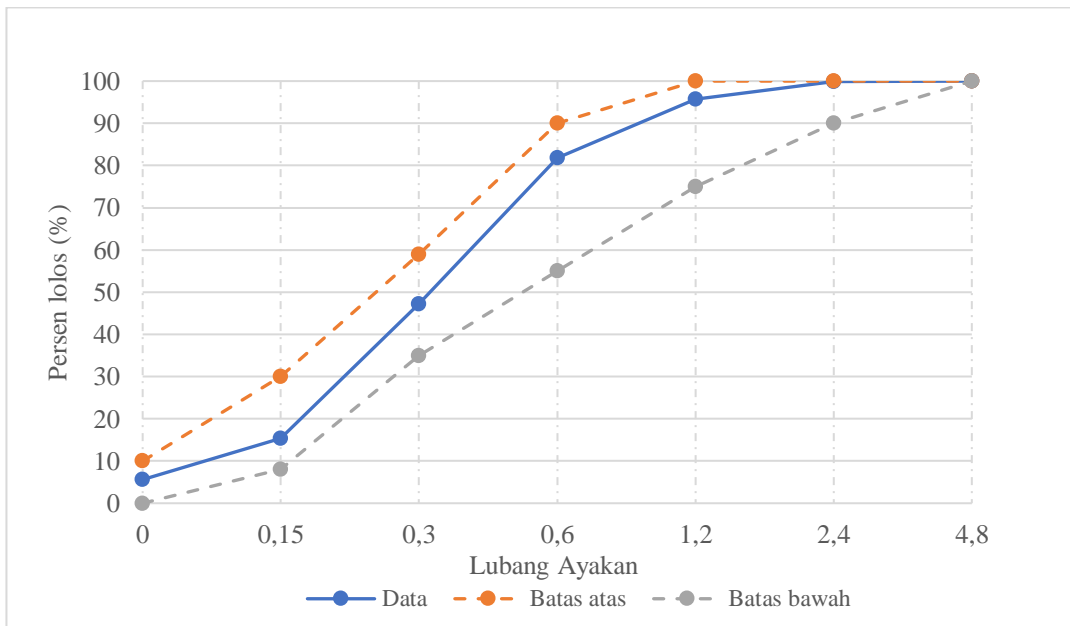
Tabel L-3. 2 Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 1	
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4881	4886	4883.5
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3110	3105	3107.5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.583	2.578	2.580
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.646	2.639	2.642
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.756	2.743	2.750
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2.438	2.333	2.386

Tabel L-3. 3 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel I

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	2	0.1001	0.1001	99.8999
2,40	83	4.1521	4.2521	95.7479
1,20	278	13.9070	18.1591	81.8409
0,60	693	34.6673	52.8264	47.1736
0,30	637	31.8659	84.6923	15.3077
0,15	194	9.7049	94.3972	5.6028
Sisa	112	5.6028	-	-
Jumlah	1999	100	254.4272	645.5728

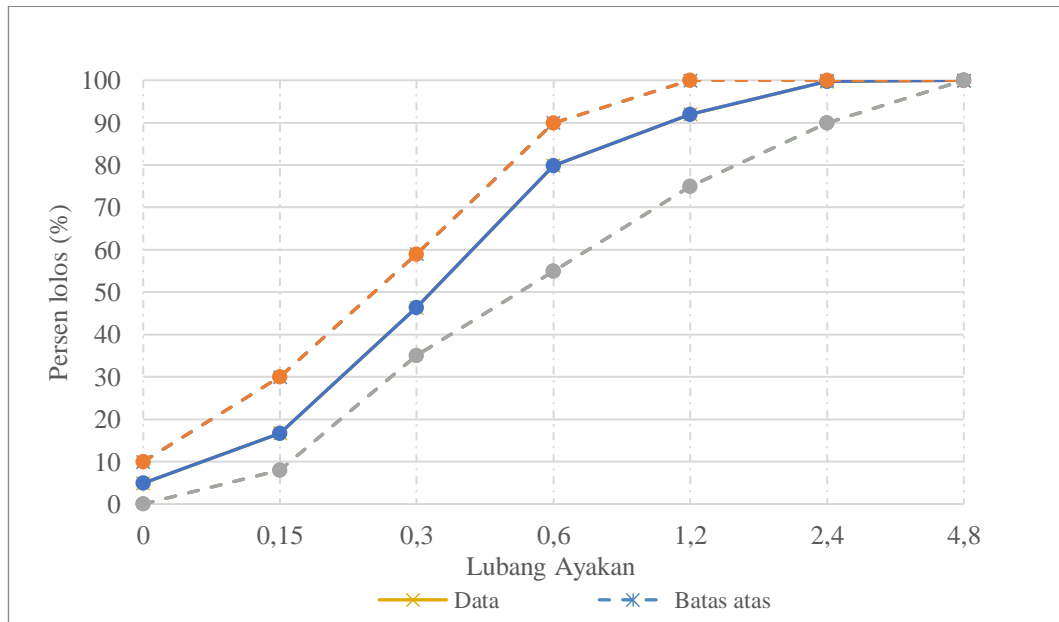
Gambar L-3. 1 Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel I



Tabel L-3. 4 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus Sampel II

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	5	0.2504	0.2504	99.7496
2,40	155	7.7616	8.0120	91.9880
1,20	241	12.0681	20.0801	79.9199
0,60	670	33.5503	53.6304	46.3696
0,30	592	29.6445	83.2749	16.7251
0,15	236	11.8177	95.0926	4.9074
Sisa	98	4.9074	-	-
Jumlah	1997	100	260.3405	639.6595

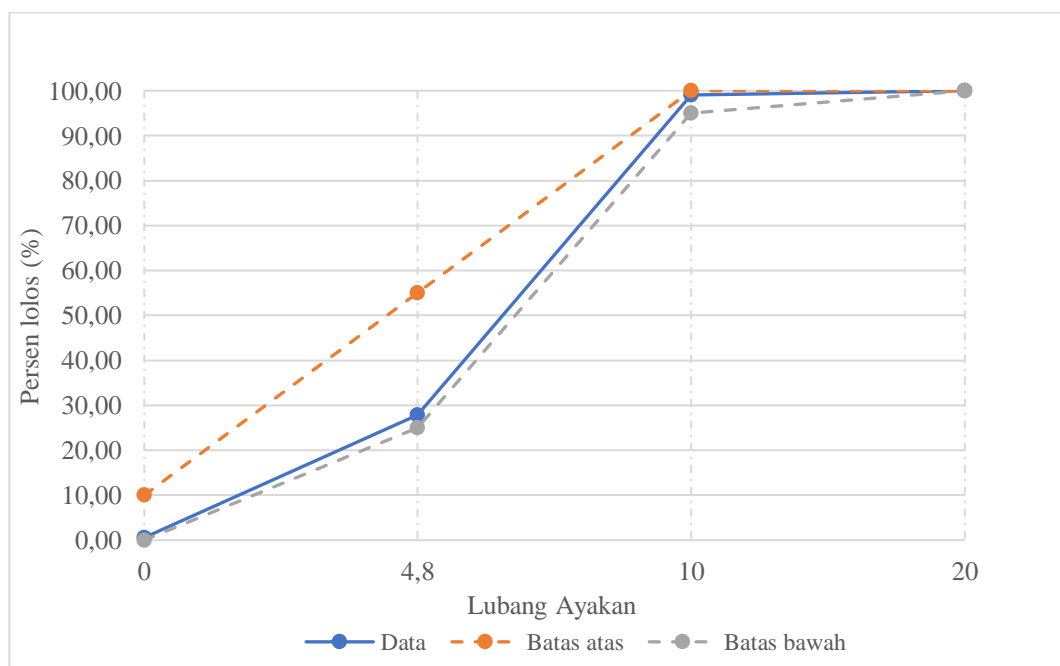
Gambar L-3. 2 Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel II



Tabel L-3. 5 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar Sampel I

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.0000	0.0000	100.0000
20,00	50	1.0002	1.0002	98.9998
10,00	3557	71.1542	72.1544	27.8456
4,80	1363.0	27.2655	99.4199	0.5801
2,40	1.000	0.0200	99.4399	0.5601
1,20	1.000	0.0200	99.4599	0.5401
0,60	0	0.0000	99.4599	0.5401
0,30	0	0.0000	99.4599	0.5401
0,15	0	0.0000	99.4599	0.5401
Sisa	27	0.5401	100.0000	0.0000
Jumlah	4999	100	669.8540	130.1460

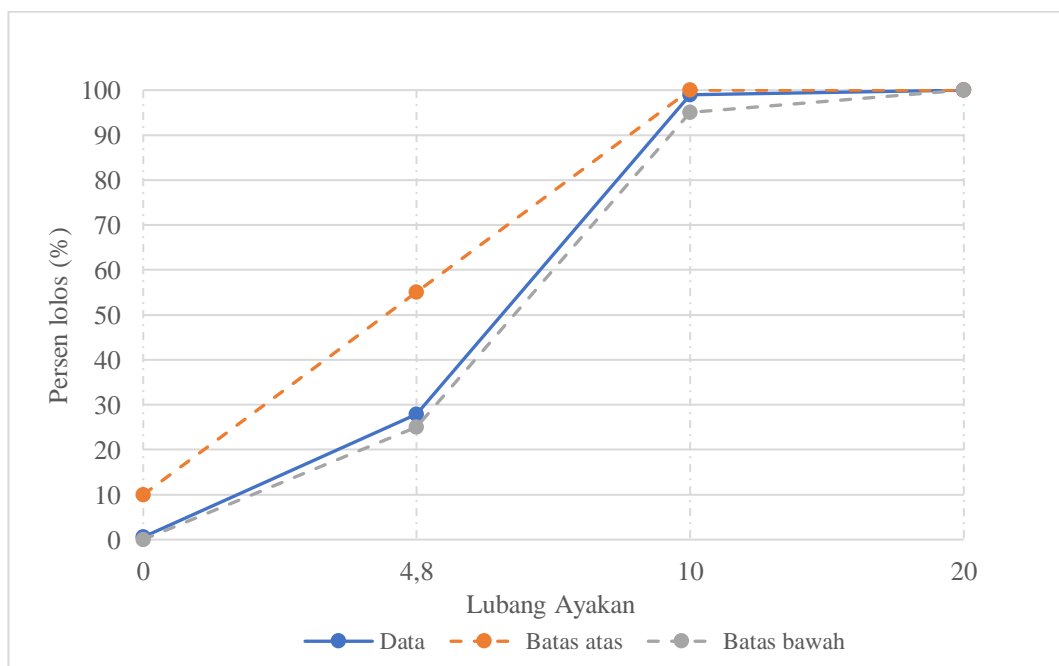
Gambar L-3. 3 Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel I



Tabel L-3. 6 Hasil Pengujian Modulus Halus Agregat Halus Sampel II

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.0000	0.0000	100.0000
20,00	41	0.8202	0.8202	99.1798
10,00	3840	76.8154	77.6355	22.3645
4,80	1092.0	21.8444	99.4799	0.5201
2,40	3.000	0.0600	99.5399	0.4601
1,20	1.000	0.0200	99.5599	0.4401
0,60	0	0.0000	99.5599	0.4401
0,30	0	0.0000	99.5599	0.4401
0,15	0	0.0000	99.5599	0.4401
Sisa	20	0.4001	99.9600	0.0400
Jumlah	4997	100	675.7151	124.2849

Gambar L-3. 4 Grafik Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel II



Tabel L-3. 7 Hasil Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Sampel 1	Hasil Sampel 2	Hasil Rata-Rata	Satuan
Berat Tabung (W1)	10561	10561	10561	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17857	18074	17966	gram
Berat Agregat (W3)	7296	7513	7405	gram
Diameter Tabung (d)	15.05	15.05	15.05	cm
Tinggi Tabung (t)	30.22	30.22	30.22	cm
Volume Tabung (V)	5375.98	5375.98	5375.98	cm ³
Berat Volume Gembur	1.3571	1.3975	1.3773	gram/cm ³

Tabel L-3. 8 Hasil Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Sampel 1	Hasil Sampel 2	Hasil Rata-Rata	Satuan
Berat Tabung (W1)	10561	10561	10561	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19286	20043	19665	gram
Berat Agregat (W3)	8725	9482	9104	gram
Diameter Tabung (d)	15.05	15.05	15	cm
Tinggi Tabung (t)	30.22	30.22	30	cm
Volume Tabung (V)	5375.9762	5375.9762	5376	cm ³
Berat Volume Gembur	1.6230	1.7638	1,693	gram/cm ³

Tabel L-3. 9 Hasil Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Sampel 1	Hasil Sampel 2	Hasil Rata-Rata	Satuan
Berat Tabung (W1)	10561	10561	10561	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17433	17650	17542	gram
Berat Agregat (W3)	6872	7089	6981	gram
Diameter Tabung (d)	15.05	15.05	15	cm
Tinggi Tabung (t)	30.22	30.22	30	cm
Volume Tabung (V)	5375.9762	5375.9762	5376	cm ³
Berat Volume Gembur	1.2783	1.3186	1,298	gram/cm ³

Tabel L-3. 10 Hasil Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Sampel 1	Hasil Sampel 2	Hasil Rata-Rata	Satuan
Berat Tabung (W1)	10561	10561	10561	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17433	17650	17542	gram
Berat Agregat (W3)	6872	7089	6981	gram
Diameter Tabung (d)	15.05	15.05	15	cm
Tinggi Tabung (t)	30.22	30.22	30	cm
Volume Tabung (V)	5375.9762	5375.9762	5376	cm ³
Berat Volume Padat	1.2783	1.3186	1,596	gram/cm ³

Tabel L-3. 11 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 Agregat Halus

Uraian	Hasil Sampel 1	Hasil Sampel 2	Hasil Rata-Rata	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	500	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2)	495.0	492.0	493.5	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1	1.6	1.3	%

Lampiran 4 Data Hasil Campuran Beton dengan Limbah Marmer Setiap Variasi

Tabel L-4. 1 Hasil Campuran Beton dengan Persentase Marmer Silinder

Tanpa Campuran marmer			
kebutuhan per 5 benda uji (0.005301438 m3)			
1	Air	6.521	liter
2	Semen	14.338	kg
3	Agregat halus (Pasir)	22.259	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	32.574	kg
	Total	75.692	kg
Variasi marmer 5%			
kebutuhan per 5 benda uji (0.005301438 m3)			
1	Air	6.521	liter
2	Semen	14.338	kg
3	Agregat halus (Pasir)	22.259	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	32.574	kg
	Total	75.692	kg
	ditambah variasi marmer 5%	0.717	kg
Variasi marmer 10%			
kebutuhan per 5 benda uji (0.005301438 m3)			
1	Air	6.521	liter
2	Semen	14.338	kg
3	Agregat halus (Pasir)	22.259	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	32.574	kg
	Total	75.692	kg
	ditambah variasi marmer 10%	1.434	kg
Variasi marmer 15%			
kebutuhan per 5 benda uji (0.005301438 m3)			
1	Air	6.521	liter
2	Semen	14.338	kg
3	Agregat halus (Pasir)	22.259	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	32.574	kg
	Total	75.692	kg
	ditambah variasi marmer 15%	2.151	kg
Variasi marmer 20%			
kebutuhan per 5 benda uji (0.005301438 m3)			
1	Air	6.521	liter
2	Semen	14.338	kg
3	Agregat halus (Pasir)	22.259	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	32.574	kg
	Total	75.692	kg
	ditambah variasi marmer 20%	2.868	kg

Tabel L-4. 2 Hasil Campuran Beton dengan Persentase Marmer Kubus

Tanpa Campuran marmer			
kebutuhan per 3 benda uji (0.003375 m3)			
1	Air	2.491	liter
2	Semen	4.726	kg
3	Agregat halus (Pasir)	9.125	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	12.575	kg
	Total	28.917	kg
Variasi marmer 5%			
kebutuhan per 3 benda uji (0.003375 m3)			
1	Air	2.491	liter
2	Semen	4.726	kg
3	Agregat halus (Pasir)	9.125	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	12.575	kg
	Total	28.917	kg
	ditambah variasi marmer 5%	0.236	kg
Variasi marmer 10%			
kebutuhan per 3 benda uji (0.003375 m3)			
1	Air	2.491	liter
2	Semen	4.726	kg
3	Agregat halus (Pasir)	9.125	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	12.575	kg
	Total	28.917	kg
	ditambah variasi marmer 10%	0.473	kg
Variasi marmer 15%			
kebutuhan per 3 benda uji (0.003375 m3)			
1	Air	2.491	liter
2	Semen	4.726	kg
3	Agregat halus (Pasir)	9.125	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	12.575	kg
	Total	28.917	kg
	ditambah variasi marmer 15%	0.709	kg
Variasi marmer 20%			
kebutuhan per 3 benda uji (0.003375 m3)			
1	Air	2.491	liter
2	Semen	4.833	kg
3	Agregat halus (Pasir)	11.257	kg
4	Agregat kasar (Kerikil)	10.323	kg
	Total	28.904	kg
	ditambah variasi marmer 20%	0.967	kg

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar deviasi	7	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu alami	
7	Jenis Agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,45	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS yang digunakan	0,45	
11	Nilai <i>Slump</i>	10±2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	451	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	451	kg/m ³
18	FAS disesuaikan	0,45	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,68	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,64	
22	Persentase agregat halus	40,59	%
23	Persentase agregat kasar	59,41	%
24	Berat jenis relative agregat gabungan (SSD)	2,66	
25	Berat isi beton	2380	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1724	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	700	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1024	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	541	kg/m ³
30	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	840	kg/m ³
31	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1229	kg/m ³
32	Kadar air dengan angka penyusutan	246	kg/m ³

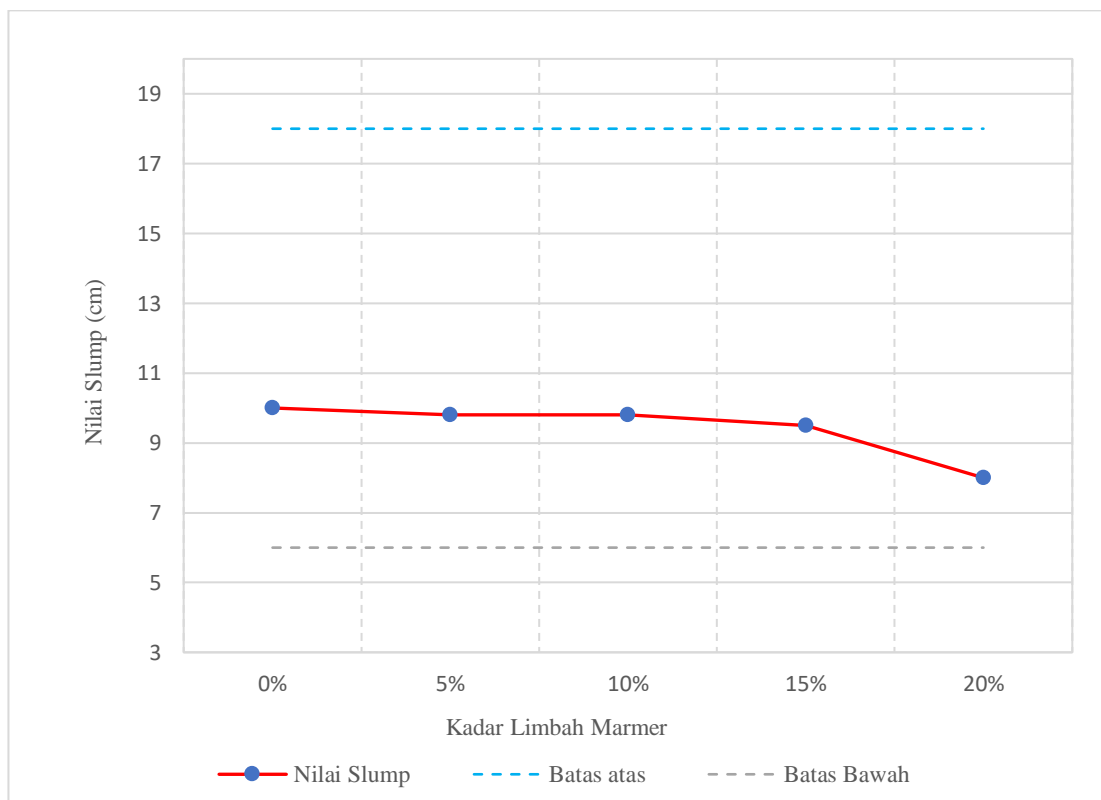
Tabel L-4. 3 Rekapitulasi Hasil Mix Design

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Beton

Tabel L-5. 1 Pengujian Slump

Kadar limbah	nilai slump
0%	10
5%	9.8
10%	9.8
15%	9.5
20%	8

Gambar L-5. 1 Grafik Nilai Slump



Tabel L-5. 2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar limbah marmer	Kode	Umur benda uji	Diameter	luas	Beban maks	Kuat Tekan	Konversi		Kuat tekan rerata
0	1	28	151	17907,86352	530	29,59593696	29,6	31,5	30,48
	2		151	17907,86352	545	30,43355782	30,4		
	3		151	17907,86352	578	32,27632371	32,3		
	4		150	17671,45868	498	28,18103526	28,2		
	5		150	17671,45868	564	31,91587125	31,9		
5	1		150	17671,45868	540	30,55774907	30,6		30,89
	2		151	17907,86352	493	27,52980552	27,5		
	3		150	17671,45868	542	30,67092592	30,7		
	4		150	17671,45868	572	32,36857865	32,4		
	5		148	17203,36137	573	33,30744426	33,3		
10	1		151	17907,86352	578	32,27632371	32,3		31,80
	2		150	17671,45868	610	34,51893877	34,5		
	3		150	17671,45868	534	30,21821853	30,2		
	4		151	17907,86352	545	30,43355782	30,4		
	5		150	17671,45868	558	31,57634071	31,6		
15	1		150	17671,45868	607	34,3491735	34,3		32,51
	2		150	17671,45868	594	33,61352398	33,6		
	3		150	17671,45868	532	30,10504168	30,1		
	4		149	17436,62463	611	35,04118561	35,0		
	5		150	17671,45868	520	29,42598059	29,4		
20	1	150	17671,45868	560	31,68951756	31,7	31,60		
	2	149	17436,62463	583	33,43537023	33,4			
	3	150	17671,45868	509	28,80350792	28,8			
	4	151	17907,86352	560	31,27117868	31,3			
	5	150	17671,45868	580	32,82128604	32,8			

Tabel L-5. 3 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	29,60	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786,352	mm ²
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	530	kN

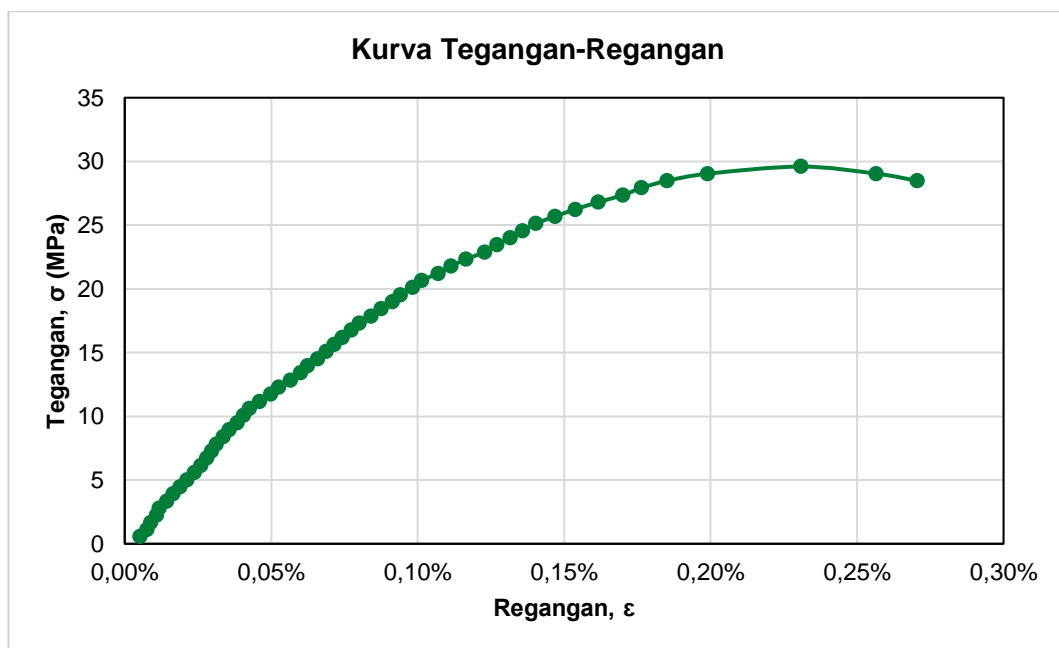
Output		
ASTM C-469	24515,7324	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	25569,0095	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	27497,54539	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,55841
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,11683
30	30000	20	0,01	0,00005	1,67524
40	40000	28	0,014	0,00007	2,23366
50	50000	32	0,016	0,00008	2,79207
60	60000	42	0,021	0,000105	3,35048
70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,90890
80	80000	60	0,03	0,00015	4,46731
90	90000	70	0,035	0,000175	5,02573
100	100000	80	0,04	0,0002	5,58414
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,14255
120	120000	97	0,0485	0,0002425	6,70097
130	130000	103	0,0515	0,0002575	7,25938
140	140000	110	0,055	0,000275	7,81779
150	150000	119	0,0595	0,0002975	8,37621
160	160000	127	0,0635	0,0003175	8,93462
170	170000	138	0,069	0,000345	9,49304
180	180000	147	0,0735	0,0003675	10,05145
190	190000	155	0,0775	0,0003875	10,60986

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	169	0,0845	0,0004225	11,16828
210	210000	184	0,092	0,00046	11,72669
220	220000	195	0,0975	0,0004875	12,28511
230	230000	211	0,1055	0,0005275	12,84352
240	240000	225	0,1125	0,0005625	13,40193
250	250000	234	0,117	0,000585	13,96035
260	260000	248	0,124	0,00062	14,51876
270	270000	260	0,13	0,00065	15,07718
280	280000	271	0,1355	0,0006775	15,63559
290	290000	282	0,141	0,000705	16,19400
300	300000	294	0,147	0,000735	16,75242
310	310000	305	0,1525	0,0007625	17,31083
320	320000	321	0,1605	0,0008025	17,86924
330	330000	335	0,1675	0,0008375	18,42766
340	340000	350	0,175	0,000875	18,98607
350	350000	361	0,1805	0,0009025	19,54449
360	360000	378	0,189	0,000945	20,10290
370	370000	390	0,195	0,000975	20,66131
380	380000	413	0,2065	0,0010325	21,21973
390	390000	430	0,215	0,001075	21,77814
400	400000	451	0,2255	0,0011275	22,33656
410	410000	476	0,238	0,00119	22,89497
420	420000	493	0,2465	0,0012325	23,45338
430	430000	511	0,2555	0,0012775	24,01180
440	440000	528	0,264	0,00132	24,57021
450	450000	546	0,273	0,001365	25,12863
460	460000	572	0,286	0,00143	25,68704
470	470000	600	0,3	0,0015	26,24545
480	480000	631	0,3155	0,0015775	26,80387
490	490000	665	0,3325	0,0016625	27,36228
500	500000	690	0,345	0,001725	27,92070
510	510000	725	0,3625	0,0018125	28,47911
520	520000	781	0,3905	0,0019525	29,03752

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	908	0,454	0,00227	29,59594
520	520000	1011	0,5055	0,0025275	29,03752
510	510000	1067	0,5335	0,0026675	28,47911

Gambar L-5. 2 Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 1



Tabel L-5. 4 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,43	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	545	kN

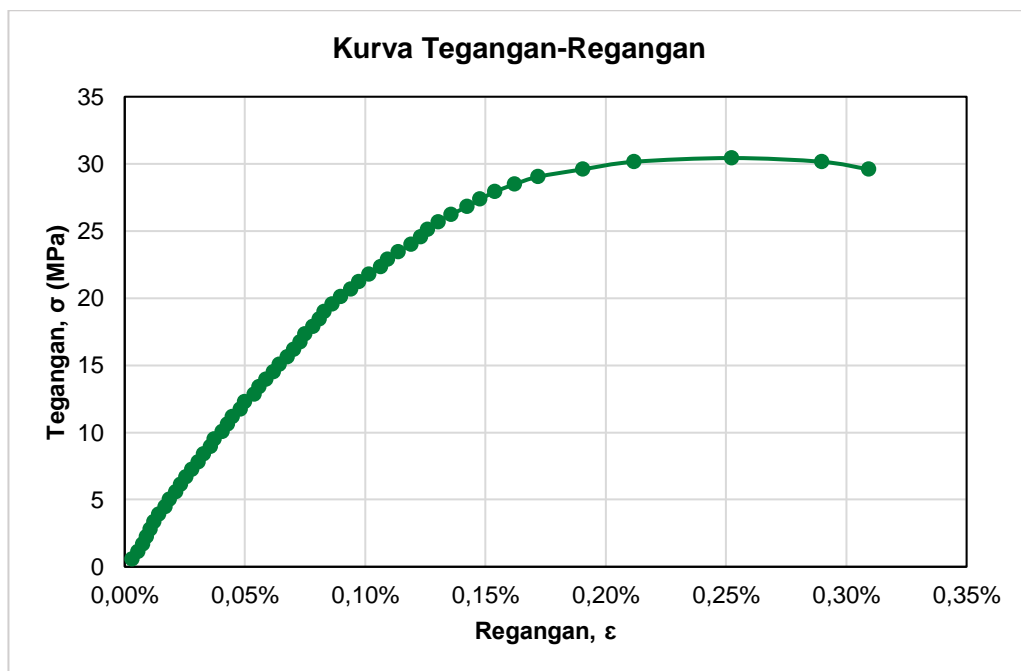
Output		
ASTM C-469	25112,1046	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25928,3106	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27466,25043	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,56
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,12
30	30000	23	0,0115	0,0000575	1,68
40	40000	29	0,0145	0,0000725	2,23
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,79
60	60000	42	0,021	0,000105	3,35
70	70000	50	0,025	0,000125	3,91
80	80000	60	0,03	0,00015	4,47
90	90000	67	0,0335	0,0001675	5,03
100	100000	78	0,039	0,000195	5,58
110	110000	86	0,043	0,000215	6,14
120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,70
130	130000	105	0,0525	0,0002625	7,26
140	140000	115	0,0575	0,0002875	7,82
150	150000	124	0,062	0,00031	8,38
160	160000	136	0,068	0,00034	8,93
170	170000	142	0,071	0,000355	9,49
180	180000	155	0,0775	0,0003875	10,05
190	190000	164	0,082	0,00041	10,61

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	172	0,086	0,00043	11,17
210	210000	185	0,0925	0,0004625	11,73
220	220000	192	0,096	0,00048	12,29
230	230000	208	0,104	0,00052	12,84
240	240000	216	0,108	0,00054	13,40
250	250000	228	0,114	0,00057	13,96
260	260000	240	0,12	0,0006	14,52
270	270000	250	0,125	0,000625	15,08
280	280000	263	0,1315	0,0006575	15,64
290	290000	274	0,137	0,000685	16,19
300	300000	285	0,1425	0,0007125	16,75
310	310000	293	0,1465	0,0007325	17,31
320	320000	306	0,153	0,000765	17,87
330	330000	317	0,1585	0,0007925	18,43
340	340000	325	0,1625	0,0008125	18,99
350	350000	338	0,169	0,000845	19,54
360	360000	352	0,176	0,00088	20,10
370	370000	369	0,1845	0,0009225	20,66
380	380000	382	0,191	0,000955	21,22
390	390000	399	0,1995	0,0009975	21,78
400	400000	419	0,2095	0,0010475	22,34
410	410000	430	0,215	0,001075	22,89
420	420000	448	0,224	0,00112	23,45
430	430000	469	0,2345	0,0011725	24,01
440	440000	485	0,2425	0,0012125	24,57
450	450000	497	0,2485	0,0012425	25,13
460	460000	514	0,257	0,001285	25,69
470	470000	536	0,268	0,00134	26,25
480	480000	562	0,281	0,001405	26,80
490	490000	584	0,292	0,00146	27,36
500	500000	608	0,304	0,00152	27,92
510	510000	641	0,3205	0,0016025	28,48
520	520000	680	0,34	0,0017	29,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	755	0,3775	0,0018875	29,60
540	540000	840	0,42	0,0021	30,15
545	545000	1002	0,501	0,002505	30,43
540	540000	1152	0,576	0,00288	30,15
530	530000	1230	0,615	0,003075	29,60

Gambar L-5. 3 Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 2



Tabel L-5. 5 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,28	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	301	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	578	kN

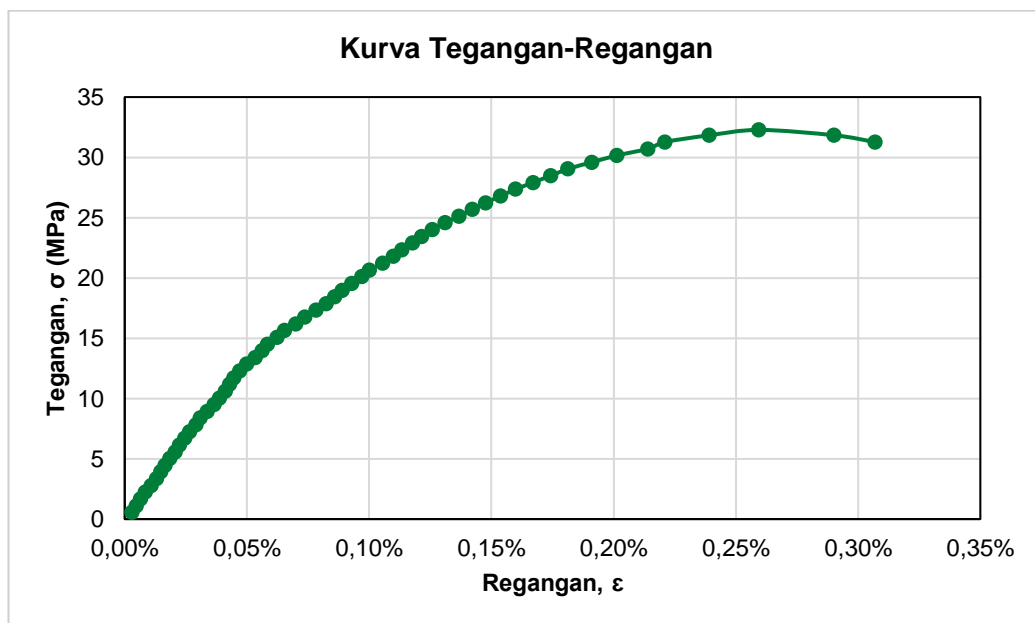
Output		
ASTM C-469	25674,2025	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26701,7601	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27880,38472	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	8	0,004	0,00002	0,56
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,12
30	30000	22	0,011	0,000055	1,68
40	40000	30	0,015	0,000075	2,23
50	50000	39	0,0195	0,0000975	2,79
60	60000	48	0,024	0,00012	3,35
70	70000	55	0,0275	0,0001375	3,91
80	80000	62	0,031	0,000155	4,47
90	90000	70	0,035	0,000175	5,03
100	100000	79	0,0395	0,0001975	5,58
110	110000	86	0,043	0,000215	6,14
120	120000	94	0,047	0,000235	6,70
130	130000	102	0,051	0,000255	7,26
140	140000	113	0,0565	0,0002825	7,82
150	150000	120	0,06	0,0003	8,38
160	160000	131	0,0655	0,0003275	8,93
170	170000	142	0,071	0,000355	9,49
180	180000	151	0,0755	0,0003775	10,05
190	190000	161	0,0805	0,0004025	10,61

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	168	0,084	0,00042	11,17
210	210000	175	0,0875	0,0004375	11,73
220	220000	184	0,092	0,00046	12,29
230	230000	196	0,098	0,00049	12,84
240	240000	210	0,105	0,000525	13,40
250	250000	221	0,1105	0,0005525	13,96
260	260000	230	0,115	0,000575	14,52
270	270000	245	0,1225	0,0006125	15,08
280	280000	258	0,129	0,000645	15,64
290	290000	276	0,138	0,00069	16,19
300	300000	291	0,1455	0,0007275	16,75
310	310000	309	0,1545	0,0007725	17,31
320	320000	326	0,163	0,000815	17,87
330	330000	340	0,17	0,00085	18,43
340	340000	352	0,176	0,00088	18,99
350	350000	368	0,184	0,00092	19,54
360	360000	384	0,192	0,00096	20,10
370	370000	396	0,198	0,00099	20,66
380	380000	418	0,209	0,001045	21,22
390	390000	436	0,218	0,00109	21,78
400	400000	450	0,225	0,001125	22,34
410	410000	467	0,2335	0,0011675	22,89
420	420000	482	0,241	0,001205	23,45
430	430000	499	0,2495	0,0012475	24,01
440	440000	520	0,26	0,0013	24,57
450	450000	543	0,2715	0,0013575	25,13
460	460000	565	0,2825	0,0014125	25,69
470	470000	587	0,2935	0,0014675	26,25
480	480000	611	0,3055	0,0015275	26,80
490	490000	636	0,318	0,00159	27,36
500	500000	664	0,332	0,00166	27,92
510	510000	693	0,3465	0,0017325	28,48
520	520000	721	0,3605	0,0018025	29,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	760	0,38	0,0019	29,60
540	540000	801	0,4005	0,0020025	30,15
550	550000	852	0,426	0,00213	30,71
560	560000	880	0,44	0,0022	31,27
570	570000	952	0,476	0,00238	31,83
578	578000	1034	0,517	0,002585	32,28
570	570000	1157	0,5785	0,0028925	31,83
560	560000	1224	0,612	0,00306	31,27

Gambar L-5. 4 Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 3



Tabel L-5. 6 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 4

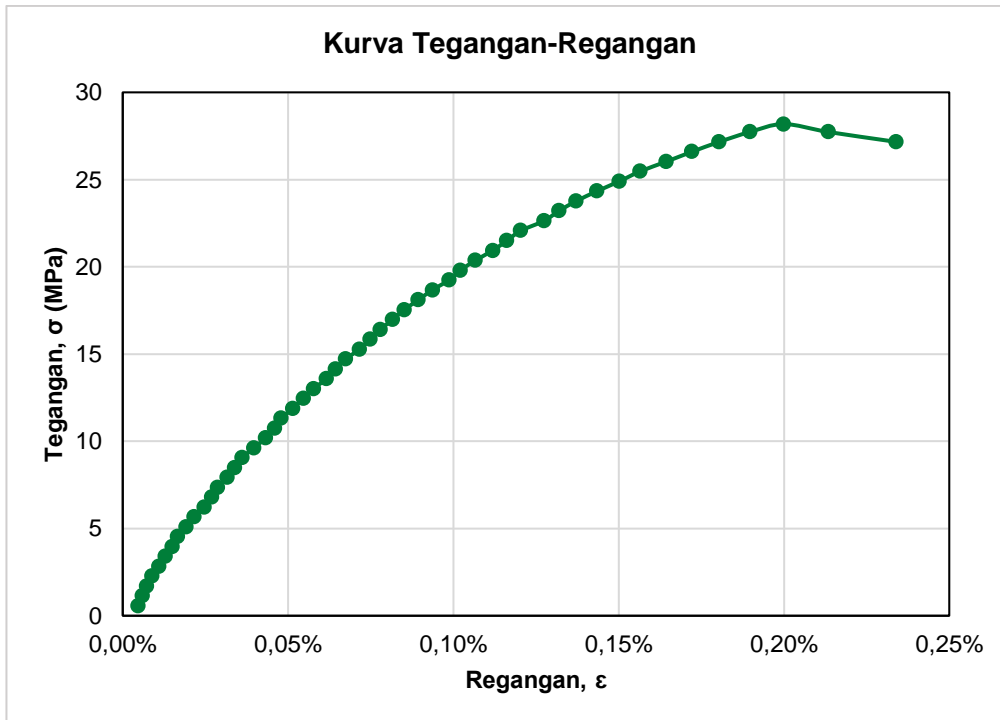
Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,18	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	498	kN

Output		
ASTM C-469	23215,7638	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	24950,3320	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	26704,40242	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	7	0,0035	0,0000175	1,13
30	30000	12	0,006	0,00003	1,70
40	40000	19	0,0095	0,0000475	2,26
50	50000	27	0,0135	0,0000675	2,83
60	60000	35	0,0175	0,0000875	3,40
70	70000	43	0,0215	0,0001075	3,96
80	80000	50	0,025	0,000125	4,53
90	90000	60	0,03	0,00015	5,09
100	100000	70	0,035	0,000175	5,66
110	110000	82	0,041	0,000205	6,22
120	120000	91	0,0455	0,0002275	6,79
130	130000	98	0,049	0,000245	7,36
140	140000	110	0,055	0,000275	7,92
150	150000	119	0,0595	0,0002975	8,49
160	160000	128	0,064	0,00032	9,05
170	170000	142	0,071	0,000355	9,62
180	180000	156	0,078	0,00039	10,19
190	190000	167	0,0835	0,0004175	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	175	0,0875	0,0004375	11,32
210	210000	189	0,0945	0,0004725	11,88
220	220000	202	0,101	0,000505	12,45
230	230000	214	0,107	0,000535	13,02
240	240000	230	0,115	0,000575	13,58
250	250000	241	0,1205	0,0006025	14,15
260	260000	253	0,1265	0,0006325	14,71
270	270000	270	0,135	0,000675	15,28
280	280000	283	0,1415	0,0007075	15,84
290	290000	295	0,1475	0,0007375	16,41
300	300000	310	0,155	0,000775	16,98
310	310000	324	0,162	0,00081	17,54
320	320000	341	0,1705	0,0008525	18,11
330	330000	358	0,179	0,000895	18,67
340	340000	378	0,189	0,000945	19,24
350	350000	392	0,196	0,00098	19,81
360	360000	410	0,205	0,001025	20,37
370	370000	431	0,2155	0,0010775	20,94
380	380000	448	0,224	0,00112	21,50
390	390000	465	0,2325	0,0011625	22,07
400	400000	493	0,2465	0,0012325	22,64
410	410000	511	0,2555	0,0012775	23,20
420	420000	532	0,266	0,00133	23,77
430	430000	557	0,2785	0,0013925	24,33
440	440000	584	0,292	0,00146	24,90
450	450000	609	0,3045	0,0015225	25,46
460	460000	641	0,3205	0,0016025	26,03
470	470000	672	0,336	0,00168	26,60
480	480000	705	0,3525	0,0017625	27,16
490	490000	742	0,371	0,001855	27,73
498	498000	783	0,3915	0,0019575	28,18
490	490000	837	0,4185	0,0020925	27,73
480	480000	919	0,4595	0,0022975	27,16

Gambar L-5. 5 Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 4



Tabel L-5. 7 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(0%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,92	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	302	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	564	kN

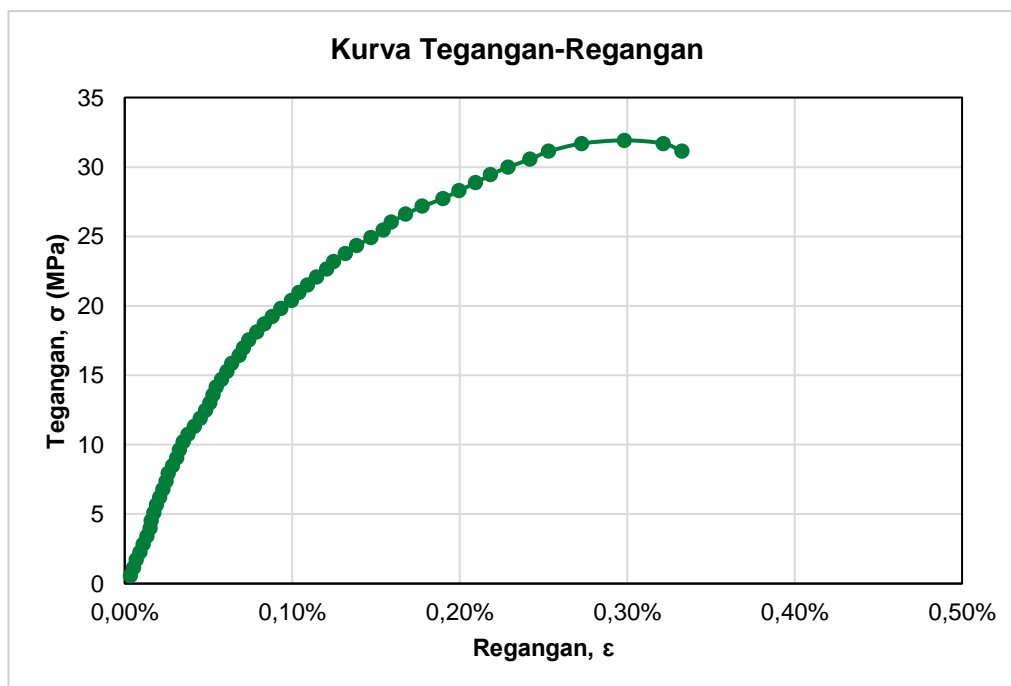
Output		
ASTM C-469	25722,0110	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	26552,2428	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	29146,92333	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	8	0,004	0,00002	0,57
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,13
30	30000	22	0,011	0,000055	1,70
40	40000	30	0,015	0,000075	2,26
50	50000	38	0,019	0,000095	2,83
60	60000	47	0,0235	0,0001175	3,40
70	70000	55	0,0275	0,0001375	3,96
80	80000	57	0,0285	0,0001425	4,53
90	90000	64	0,032	0,00016	5,09
100	100000	70	0,035	0,000175	5,66
110	110000	78	0,039	0,000195	6,22
120	120000	85	0,0425	0,0002125	6,79
130	130000	93	0,0465	0,0002325	7,36
140	140000	98	0,049	0,000245	7,92
150	150000	108	0,054	0,00027	8,49
160	160000	118	0,059	0,000295	9,05
170	170000	125	0,0625	0,0003125	9,62
180	180000	134	0,067	0,000335	10,19
190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	161	0,0805	0,0004025	11,32
210	210000	175	0,0875	0,0004375	11,88
220	220000	187	0,0935	0,0004675	12,45
230	230000	198	0,099	0,000495	13,02
240	240000	205	0,1025	0,0005125	13,58
250	250000	213	0,1065	0,0005325	14,15
260	260000	225	0,1125	0,0005625	14,71
270	270000	238	0,119	0,000595	15,28
280	280000	250	0,125	0,000625	15,84
290	290000	267	0,1335	0,0006675	16,41
300	300000	278	0,139	0,000695	16,98
310	310000	290	0,145	0,000725	17,54
320	320000	310	0,155	0,000775	18,11
330	330000	328	0,164	0,00082	18,67
340	340000	346	0,173	0,000865	19,24
350	350000	367	0,1835	0,0009175	19,81
360	360000	392	0,196	0,00098	20,37
370	370000	410	0,205	0,001025	20,94
380	380000	431	0,2155	0,0010775	21,50
390	390000	452	0,226	0,00113	22,07
400	400000	476	0,238	0,00119	22,64
410	410000	493	0,2465	0,0012325	23,20
420	420000	521	0,2605	0,0013025	23,77
430	430000	548	0,274	0,00137	24,33
440	440000	582	0,291	0,001455	24,90
450	450000	611	0,3055	0,0015275	25,46
460	460000	631	0,3155	0,0015775	26,03
470	470000	665	0,3325	0,0016625	26,60
480	480000	705	0,3525	0,0017625	27,16
490	490000	754	0,377	0,001885	27,73
500	500000	792	0,396	0,00198	28,29
510	510000	832	0,416	0,00208	28,86
520	520000	867	0,4335	0,0021675	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	910	0,455	0,002275	29,99
540	540000	962	0,481	0,002405	30,56
550	550000	1007	0,5035	0,0025175	31,12
560	560000	1086	0,543	0,002715	31,69
564	564000	1187	0,5935	0,0029675	31,92
560	560000	1280	0,64	0,0032	31,69
550	550000	1325	0,6625	0,0033125	31,12

Gambar L-5. 6 Kurva Tegangan-Regangan M(0%) Sampel 3



Tabel L-5. 8 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,56	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	301	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	540	kN

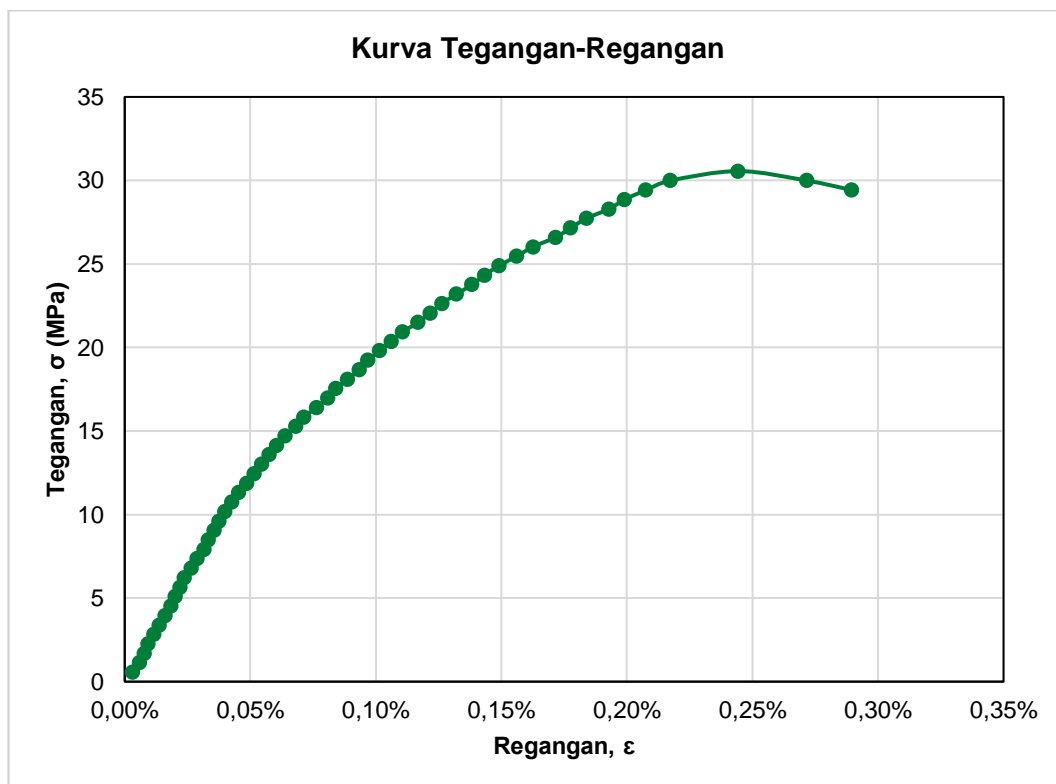
Output		
ASTM C-469	24575,5442	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	25981,1600	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	27877,44688	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	7	0,0035	0,0000175	0,57
20	20000	18	0,009	0,000045	1,13
30	30000	26	0,013	0,000065	1,70
40	40000	32	0,016	0,00008	2,26
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,83
60	60000	50	0,025	0,000125	3,40
70	70000	59	0,0295	0,0001475	3,96
80	80000	68	0,034	0,00017	4,53
90	90000	75	0,0375	0,0001875	5,09
100	100000	83	0,0415	0,0002075	5,66
110	110000	90	0,045	0,000225	6,22
120	120000	101	0,0505	0,0002525	6,79
130	130000	110	0,055	0,000275	7,36
140	140000	121	0,0605	0,0003025	7,92
150	150000	128	0,064	0,00032	8,49
160	160000	137	0,0685	0,0003425	9,05
170	170000	145	0,0725	0,0003625	9,62
180	180000	154	0,077	0,000385	10,19
190	190000	165	0,0825	0,0004125	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	176	0,088	0,00044	11,32
210	210000	189	0,0945	0,0004725	11,88
220	220000	201	0,1005	0,0005025	12,45
230	230000	213	0,1065	0,0005325	13,02
240	240000	225	0,1125	0,0005625	13,58
250	250000	237	0,1185	0,0005925	14,15
260	260000	250	0,125	0,000625	14,71
270	270000	267	0,1335	0,0006675	15,28
280	280000	280	0,14	0,0007	15,84
290	290000	300	0,15	0,00075	16,41
300	300000	318	0,159	0,000795	16,98
310	310000	331	0,1655	0,0008275	17,54
320	320000	350	0,175	0,000875	18,11
330	330000	368	0,184	0,00092	18,67
340	340000	382	0,191	0,000955	19,24
350	350000	401	0,2005	0,0010025	19,81
360	360000	419	0,2095	0,0010475	20,37
370	370000	437	0,2185	0,0010925	20,94
380	380000	462	0,231	0,001155	21,50
390	390000	481	0,2405	0,0012025	22,07
400	400000	500	0,25	0,00125	22,64
410	410000	523	0,2615	0,0013075	23,20
420	420000	548	0,274	0,00137	23,77
430	430000	568	0,284	0,00142	24,33
440	440000	591	0,2955	0,0014775	24,90
450	450000	619	0,3095	0,0015475	25,46
460	460000	645	0,3225	0,0016125	26,03
470	470000	681	0,3405	0,0017025	26,60
480	480000	705	0,3525	0,0017625	27,16
490	490000	730	0,365	0,001825	27,73
500	500000	766	0,383	0,001915	28,29
510	510000	791	0,3955	0,0019775	28,86
520	520000	825	0,4125	0,0020625	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	864	0,432	0,00216	29,99
540	540000	972	0,486	0,00243	30,56
530	530000	1081	0,5405	0,0027025	29,99
520	520000	1153	0,5765	0,0028825	29,43

Gambar L-5. 7 Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 1



Tabel L-5. 9 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 2

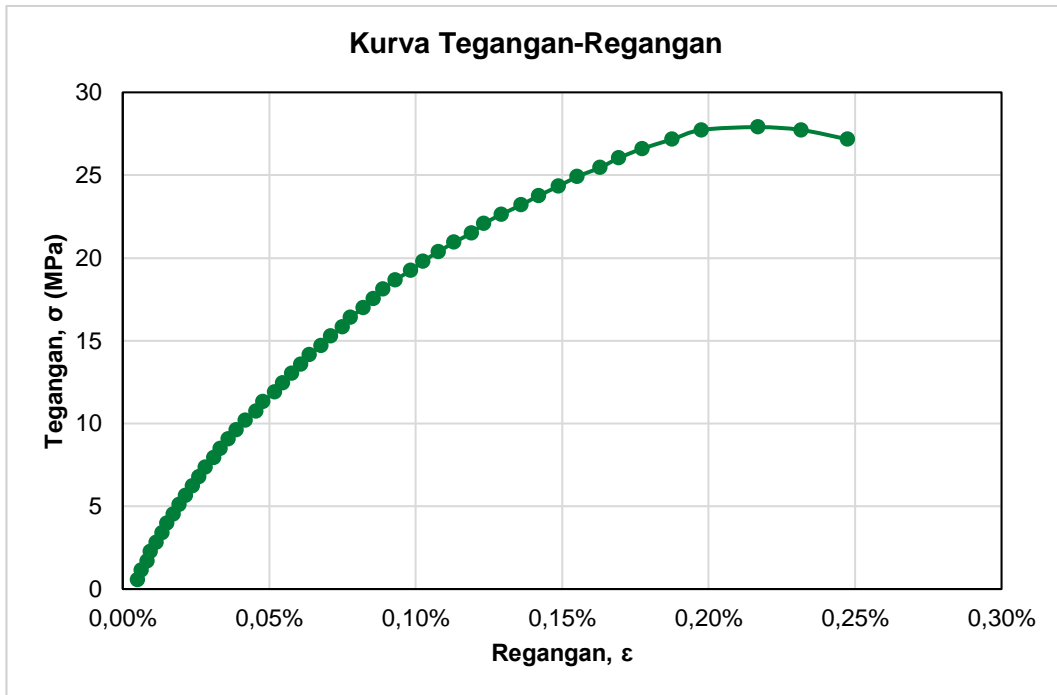
Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	27,90	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	493	kN

Output		
ASTM C-469	23670,9748	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	24824,7634	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	25813,4494	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	18	0,009	0,000045	1,70
40	40000	23	0,0115	0,000058	2,26
50	50000	31	0,0155	0,0000775	2,83
60	60000	39	0,0195	0,0000975	3,40
70	70000	45	0,0225	0,0001125	3,96
80	80000	54	0,027	0,000135	4,53
90	90000	62	0,031	0,000155	5,09
100	100000	71	0,0355	0,0001775	5,66
110	110000	80	0,04	0,0002	6,22
120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,79
130	130000	98	0,049	0,000245	7,36
140	140000	109	0,0545	0,0002725	7,92
150	150000	118	0,059	0,000295	8,49
160	160000	129	0,0645	0,0003225	9,05
170	170000	140	0,07	0,00035	9,62
180	180000	152	0,076	0,00038	10,19
190	190000	167	0,0835	0,0004175	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	176	0,088	0,00044	11,32
210	210000	192	0,096	0,00048	11,88
220	220000	203	0,1015	0,0005075	12,45
230	230000	216	0,108	0,00054	13,02
240	240000	228	0,114	0,00057	13,58
250	250000	240	0,12	0,0006	14,15
260	260000	256	0,128	0,00064	14,71
270	270000	269	0,1345	0,0006725	15,28
280	280000	285	0,1425	0,0007125	15,84
290	290000	296	0,148	0,00074	16,41
300	300000	313	0,1565	0,0007825	16,98
310	310000	327	0,1635	0,0008175	17,54
320	320000	340	0,17	0,00085	18,11
330	330000	357	0,1785	0,0008925	18,67
340	340000	378	0,189	0,000945	19,24
350	350000	395	0,1975	0,0009875	19,81
360	360000	416	0,208	0,00104	20,37
370	370000	437	0,2185	0,0010925	20,94
380	380000	461	0,2305	0,0011525	21,50
390	390000	478	0,239	0,001195	22,07
400	400000	502	0,251	0,001255	22,64
410	410000	529	0,2645	0,0013225	23,20
420	420000	553	0,2765	0,0013825	23,77
430	430000	580	0,29	0,00145	24,33
440	440000	605	0,3025	0,0015125	24,90
450	450000	637	0,3185	0,0015925	25,46
460	460000	662	0,331	0,001655	26,03
470	470000	694	0,347	0,001735	26,60
480	480000	735	0,3675	0,0018375	27,16
490	490000	775	0,3875	0,0019375	27,73
493	493000	852	0,426	0,00213	27,90
490	490000	911	0,4555	0,0022775	27,73
480	480000	975	0,4875	0,0024375	27,16

Gambar L-5. 8 Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 1



Tabel L-5. 10 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,67	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	302	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	542	kN

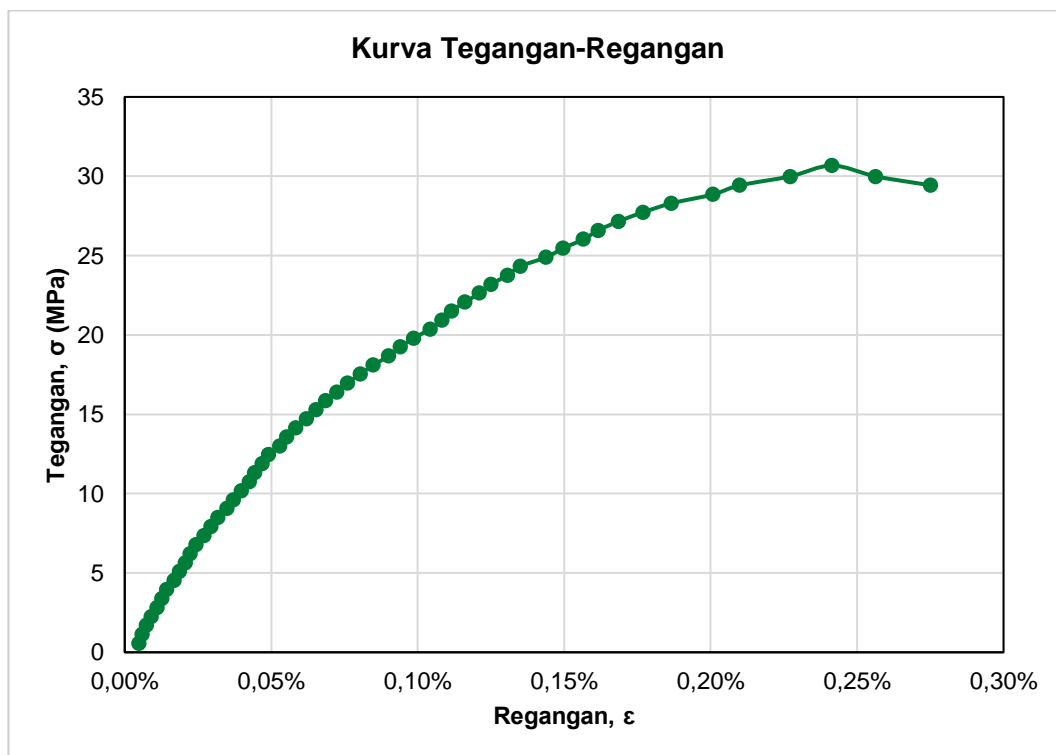
Output		
ASTM C-469	25464,7909	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26029,2288	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27333,52408	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,13
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,70
40	40000	22	0,011	0,000055	2,26
50	50000	30	0,015	0,000075	2,83
60	60000	36	0,018	0,00009	3,40
70	70000	43	0,0215	0,0001075	3,96
80	80000	53	0,0265	0,0001325	4,53
90	90000	60	0,03	0,00015	5,09
100	100000	68	0,034	0,00017	5,66
110	110000	75	0,0375	0,0001875	6,22
120	120000	83	0,0415	0,0002075	6,79
130	130000	94	0,047	0,000235	7,36
140	140000	103	0,0515	0,0002575	7,92
150	150000	113	0,0565	0,0002825	8,49
160	160000	125	0,0625	0,0003125	9,05
170	170000	134	0,067	0,000335	9,62
180	180000	145	0,0725	0,0003625	10,19
190	190000	156	0,078	0,00039	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	163	0,0815	0,0004075	11,32
210	210000	173	0,0865	0,0004325	11,88
220	220000	182	0,091	0,000455	12,45
230	230000	197	0,0985	0,0004925	13,02
240	240000	207	0,1035	0,0005175	13,58
250	250000	219	0,1095	0,0005475	14,15
260	260000	234	0,117	0,000585	14,71
270	270000	247	0,1235	0,0006175	15,28
280	280000	260	0,13	0,00065	15,84
290	290000	275	0,1375	0,0006875	16,41
300	300000	290	0,145	0,000725	16,98
310	310000	307	0,1535	0,0007675	17,54
320	320000	325	0,1625	0,0008125	18,11
330	330000	346	0,173	0,000865	18,67
340	340000	362	0,181	0,000905	19,24
350	350000	380	0,19	0,00095	19,81
360	360000	403	0,2015	0,0010075	20,37
370	370000	419	0,2095	0,0010475	20,94
380	380000	432	0,216	0,00108	21,50
390	390000	450	0,225	0,001125	22,07
400	400000	470	0,235	0,001175	22,64
410	410000	486	0,243	0,001215	23,20
420	420000	508	0,254	0,00127	23,77
430	430000	526	0,263	0,001315	24,33
440	440000	561	0,2805	0,0014025	24,90
450	450000	584	0,292	0,00146	25,46
460	460000	612	0,306	0,00153	26,03
470	470000	632	0,316	0,00158	26,60
480	480000	660	0,33	0,00165	27,16
490	490000	693	0,3465	0,0017325	27,73
500	500000	732	0,366	0,00183	28,29
510	510000	789	0,3945	0,0019725	28,86
520	520000	825	0,4125	0,0020625	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	894	0,447	0,002235	29,99
542	542000	951	0,4755	0,0023775	30,67
530	530000	1011	0,5055	0,0025275	29,99
520	520000	1086	0,543	0,002715	29,43

Gambar L-5. 9 Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 3



Tabel L-5. 11 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,67	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	302	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	542	kN

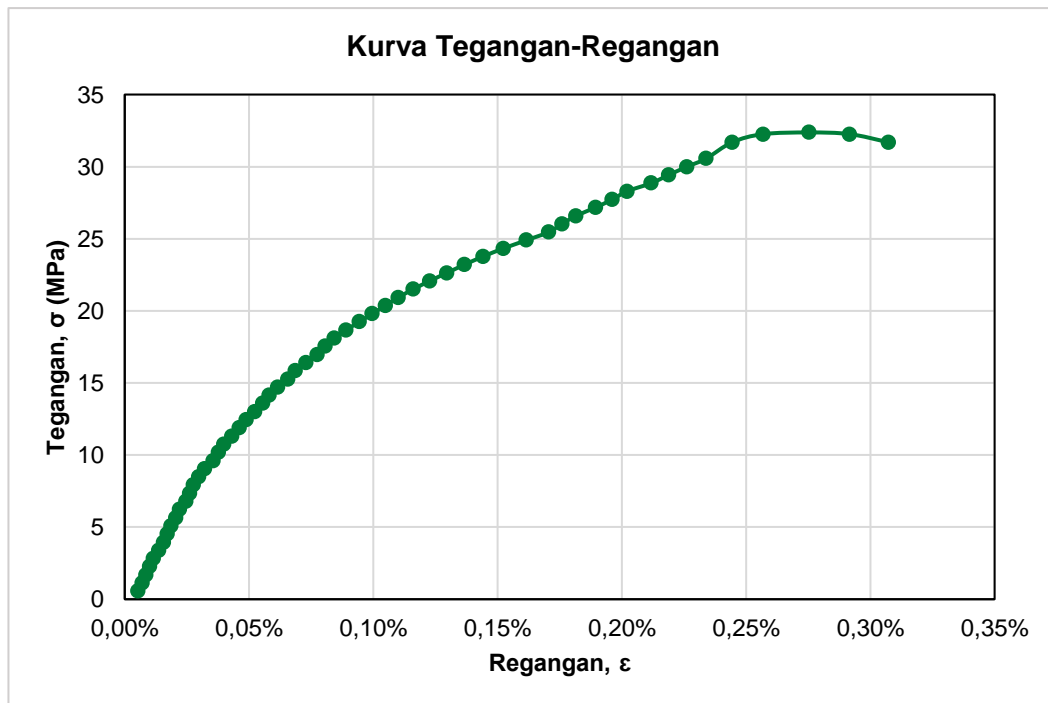
Output		
ASTM C-469	25464,7909	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26029,2288	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27333,52408	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	7	0,0035	0,0000175	0,57
20	20000	14	0,007	0,000035	1,13
30	30000	20	0,01	0,00005	1,70
40	40000	26	0,013	0,000065	2,26
50	50000	32	0,016	0,00008	2,83
60	60000	40	0,02	0,0001	3,40
70	70000	48	0,024	0,00012	3,96
80	80000	54	0,027	0,000135	4,53
90	90000	60	0,03	0,00015	5,09
100	100000	68	0,034	0,00017	5,66
110	110000	74	0,037	0,000185	6,22
120	120000	84	0,042	0,00021	6,79
130	130000	90	0,045	0,000225	7,36
140	140000	96	0,048	0,00024	7,92
150	150000	105	0,0525	0,0002625	8,49
160	160000	114	0,057	0,000285	9,05
170	170000	128	0,064	0,00032	9,62
180	180000	136	0,068	0,00034	10,19
190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	158	0,079	0,000395	11,32
210	210000	170	0,085	0,000425	11,88
220	220000	181	0,0905	0,0004525	12,45
230	230000	195	0,0975	0,0004875	13,02
240	240000	208	0,104	0,00052	13,58
250	250000	218	0,109	0,000545	14,15
260	260000	232	0,116	0,00058	14,71
270	270000	248	0,124	0,00062	15,28
280	280000	260	0,13	0,00065	15,84
290	290000	277	0,1385	0,0006925	16,41
300	300000	295	0,1475	0,0007375	16,98
310	310000	308	0,154	0,00077	17,54
320	320000	323	0,1615	0,0008075	18,11
330	330000	342	0,171	0,000855	18,67
340	340000	363	0,1815	0,0009075	19,24
350	350000	384	0,192	0,00096	19,81
360	360000	405	0,2025	0,0010125	20,37
370	370000	426	0,213	0,001065	20,94
380	380000	450	0,225	0,001125	21,50
390	390000	476	0,238	0,00119	22,07
400	400000	504	0,252	0,00126	22,64
410	410000	532	0,266	0,00133	23,20
420	420000	562	0,281	0,001405	23,77
430	430000	595	0,2975	0,0014875	24,33
440	440000	632	0,316	0,00158	24,90
450	450000	668	0,334	0,00167	25,46
460	460000	689	0,3445	0,0017225	26,03
470	470000	712	0,356	0,00178	26,60
480	480000	743	0,3715	0,0018575	27,16
490	490000	770	0,385	0,001925	27,73
500	500000	794	0,397	0,001985	28,29
510	510000	833	0,4165	0,0020825	28,86
520	520000	861	0,4305	0,0021525	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	890	0,445	0,002225	29,99
540	540000	921	0,4605	0,0023025	30,56
560	560000	963	0,4815	0,0024075	31,69
570	570000	1013	0,5065	0,0025325	32,26
572	572000	1087	0,5435	0,0027175	32,37
570	570000	1152	0,576	0,00288	32,26
560	560000	1215	0,6075	0,0030375	31,69

Gambar L-5. 10 Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 4



Tabel L-5. 12 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(5%) Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	33,31	Mpa
Diameter	148	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1720336	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	573	kN

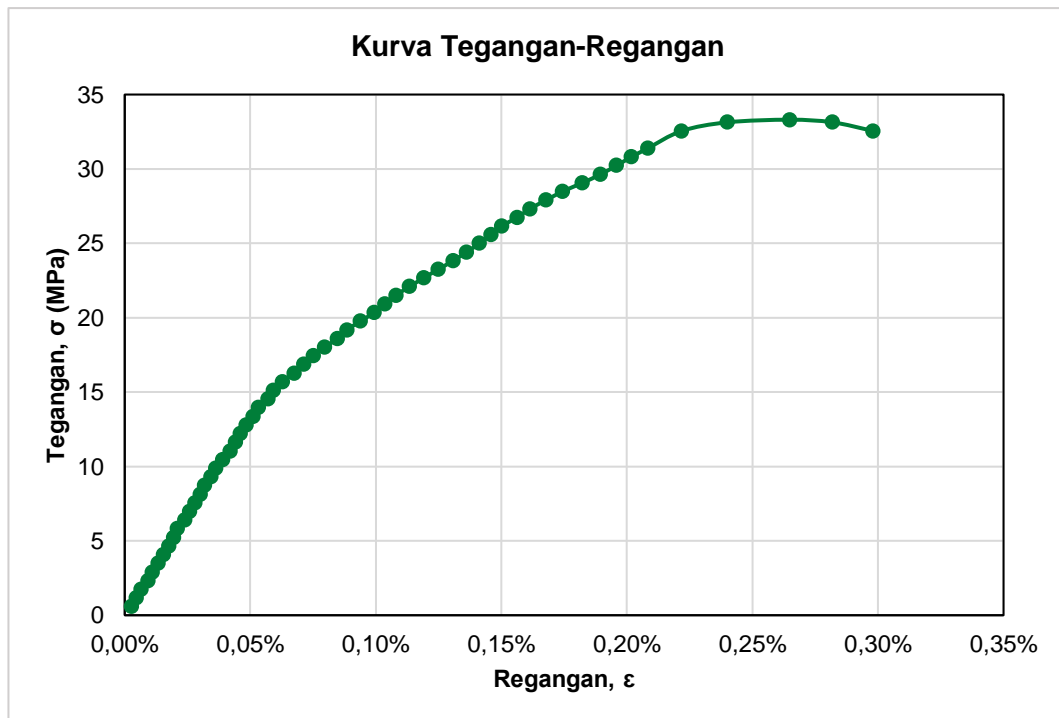
Output		
ASTM C-469	26125,0225	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	27124,9229	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	30459,4277	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10³ mm	mm	%	MPa
10	10000	8	0,004	0,00002	0,58
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,16
30	30000	23	0,0115	0,0000575	1,74
40	40000	34	0,017	0,000085	2,33
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,91
60	60000	50	0,025	0,000125	3,49
70	70000	59	0,0295	0,0001475	4,07
80	80000	67	0,0335	0,0001675	4,65
90	90000	75	0,0375	0,0001875	5,23
100	100000	81	0,0405	0,0002025	5,81
110	110000	93	0,0465	0,0002325	6,39
120	120000	100	0,05	0,00025	6,98
130	130000	109	0,0545	0,0002725	7,56
140	140000	117	0,0585	0,0002925	8,14
150	150000	124	0,062	0,00031	8,72
160	160000	134	0,067	0,000335	9,30
170	170000	142	0,071	0,000355	9,88
180	180000	153	0,0765	0,0003825	10,46
190	190000	165	0,0825	0,0004125	11,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	173	0,0865	0,0004325	11,63
210	210000	181	0,0905	0,0004525	12,21
220	220000	190	0,095	0,000475	12,79
230	230000	201	0,1005	0,0005025	13,37
240	240000	210	0,105	0,000525	13,95
250	250000	225	0,1125	0,0005625	14,53
260	260000	234	0,117	0,000585	15,11
270	270000	248	0,124	0,00062	15,69
280	280000	267	0,1335	0,0006675	16,28
290	290000	282	0,141	0,000705	16,86
300	300000	297	0,1485	0,0007425	17,44
310	310000	315	0,1575	0,0007875	18,02
320	320000	336	0,168	0,00084	18,60
330	330000	351	0,1755	0,0008775	19,18
340	340000	372	0,186	0,00093	19,76
350	350000	394	0,197	0,000985	20,34
360	360000	411	0,2055	0,0010275	20,93
370	370000	429	0,2145	0,0010725	21,51
380	380000	450	0,225	0,001125	22,09
390	390000	473	0,2365	0,0011825	22,67
400	400000	496	0,248	0,00124	23,25
410	410000	520	0,26	0,0013	23,83
420	420000	541	0,2705	0,0013525	24,41
430	430000	562	0,281	0,001405	25,00
440	440000	580	0,29	0,00145	25,58
450	450000	597	0,2985	0,0014925	26,16
460	460000	622	0,311	0,001555	26,74
470	470000	642	0,321	0,001605	27,32
480	480000	668	0,334	0,00167	27,90
490	490000	694	0,347	0,001735	28,48
500	500000	726	0,363	0,001815	29,06
510	510000	755	0,3775	0,0018875	29,65
520	520000	780	0,39	0,00195	30,23

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
530	530000	804	0,402	0,00201	30,81
540	540000	830	0,415	0,002075	31,39
560	560000	884	0,442	0,00221	32,55
570	570000	957	0,4785	0,0023925	33,13
573	573000	1056	0,528	0,00264	33,31
570	570000	1124	0,562	0,00281	33,13
560	560000	1189	0,5945	0,0029725	32,55

Gambar L-5. 11 Kurva Tegangan-Regangan M(5%) Sampel 5



Tabel L-5. 13 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,28	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	578	kN

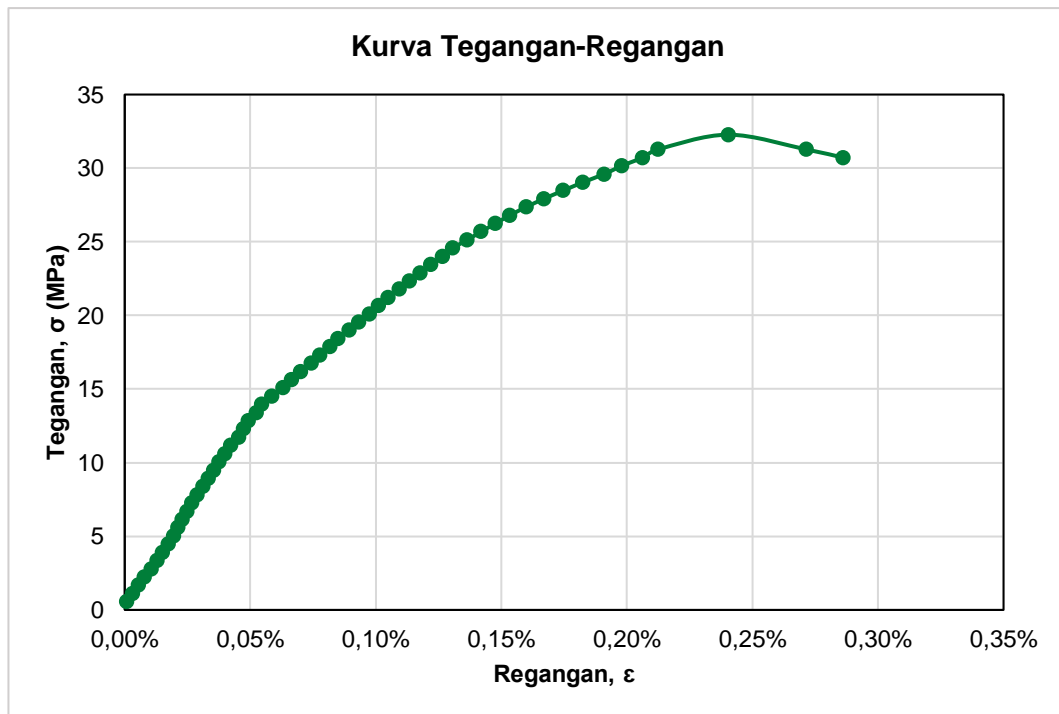
Output		
ASTM C-469	25527,4928	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	26701,7601	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	28532,06878	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,12
30	30000	22	0,011	0,000055	1,68
40	40000	32	0,016	0,00008	2,23
50	50000	43	0,0215	0,0001075	2,79
60	60000	52	0,026	0,00013	3,35
70	70000	61	0,0305	0,0001525	3,91
80	80000	70	0,035	0,000175	4,47
90	90000	78	0,039	0,000195	5,03
100	100000	85	0,0425	0,0002125	5,58
110	110000	92	0,046	0,00023	6,14
120	120000	100	0,05	0,00025	6,70
130	130000	107	0,0535	0,0002675	7,26
140	140000	116	0,058	0,00029	7,82
150	150000	125	0,0625	0,0003125	8,38
160	160000	134	0,067	0,000335	8,93
170	170000	142	0,071	0,000355	9,49
180	180000	151	0,0755	0,0003775	10,05
190	190000	160	0,08	0,0004	10,61

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	169	0,0845	0,0004225	11,17
210	210000	182	0,091	0,000455	11,73
220	220000	190	0,095	0,000475	12,29
230	230000	197	0,0985	0,0004925	12,84
240	240000	210	0,105	0,000525	13,40
250	250000	219	0,1095	0,0005475	13,96
260	260000	235	0,1175	0,0005875	14,52
270	270000	253	0,1265	0,0006325	15,08
280	280000	266	0,133	0,000665	15,64
290	290000	281	0,1405	0,0007025	16,19
300	300000	298	0,149	0,000745	16,75
310	310000	311	0,1555	0,0007775	17,31
320	320000	327	0,1635	0,0008175	17,87
330	330000	340	0,17	0,00085	18,43
340	340000	358	0,179	0,000895	18,99
350	350000	373	0,1865	0,0009325	19,54
360	360000	390	0,195	0,000975	20,10
370	370000	405	0,2025	0,0010125	20,66
380	380000	420	0,21	0,00105	21,22
390	390000	438	0,219	0,001095	21,78
400	400000	454	0,227	0,001135	22,34
410	410000	471	0,2355	0,0011775	22,89
420	420000	488	0,244	0,00122	23,45
430	430000	507	0,2535	0,0012675	24,01
440	440000	523	0,2615	0,0013075	24,57
450	450000	546	0,273	0,001365	25,13
460	460000	568	0,284	0,00142	25,69
470	470000	591	0,2955	0,0014775	26,25
480	480000	614	0,307	0,001535	26,80
490	490000	640	0,32	0,0016	27,36
500	500000	668	0,334	0,00167	27,92
510	510000	699	0,3495	0,0017475	28,48
520	520000	730	0,365	0,001825	29,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
530	530000	764	0,382	0,00191	29,60
540	540000	792	0,396	0,00198	30,15
550	550000	825	0,4125	0,0020625	30,71
560	560000	850	0,425	0,002125	31,27
578	578000	962	0,481	0,002405	32,28
560	560000	1086	0,543	0,002715	31,27
550	550000	1145	0,5725	0,0028625	30,71

Gambar L-5. 12 Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 1



Tabel L-5. 14 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,28	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	578	kN

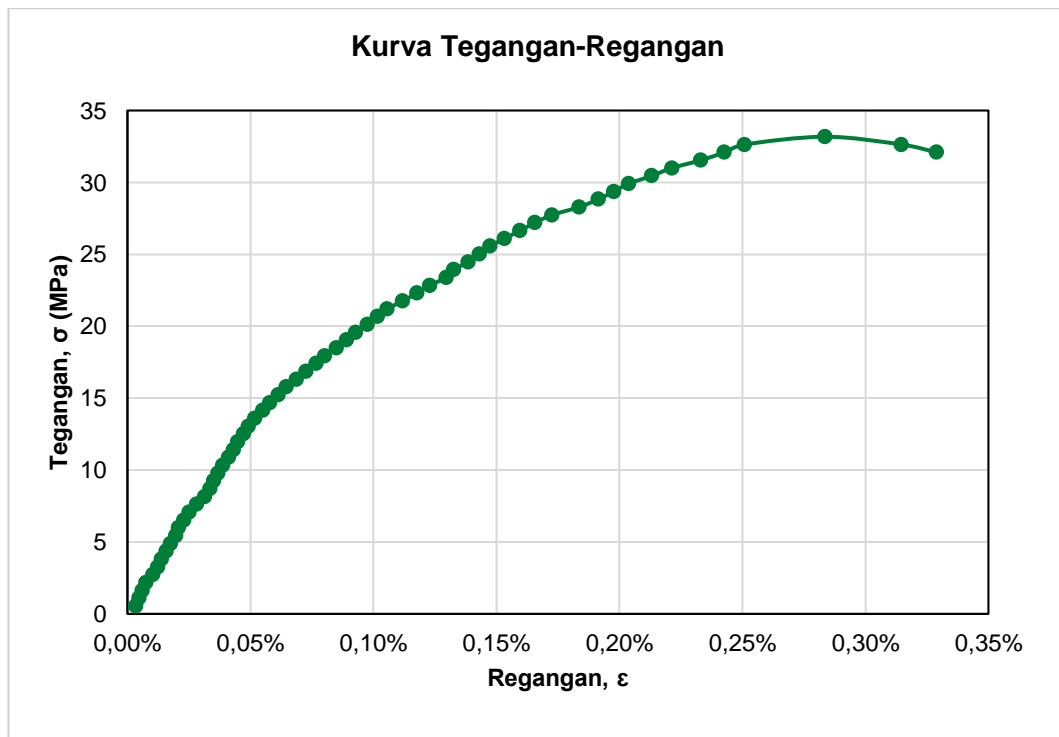
Output		
ASTM C-469	25527,4928	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	26701,7601	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	28532,06878	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,54
20	20000	8	0,004	0,00002	1,09
30	30000	14	0,007	0,000035	1,63
40	40000	20	0,01	0,00005	2,18
50	50000	31	0,0155	0,0000775	2,72
60	60000	39	0,0195	0,0000975	3,26
70	70000	45	0,0225	0,0001125	3,81
80	80000	53	0,0265	0,0001325	4,35
90	90000	60	0,03	0,00015	4,90
100	100000	68	0,034	0,00017	5,44
110	110000	73	0,0365	0,0001825	5,98
120	120000	81	0,0405	0,0002025	6,53
130	130000	90	0,045	0,000225	7,07
140	140000	102	0,051	0,000255	7,61
150	150000	115	0,0575	0,0002875	8,16
160	160000	124	0,062	0,00031	8,70
170	170000	130	0,065	0,000325	9,25
180	180000	137	0,0685	0,0003425	9,79
190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,33

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	154	0,077	0,000385	10,88
210	210000	162	0,081	0,000405	11,42
220	220000	169	0,0845	0,0004225	11,97
230	230000	178	0,089	0,000445	12,51
240	240000	186	0,093	0,000465	13,05
250	250000	197	0,0985	0,0004925	13,60
260	260000	210	0,105	0,000525	14,14
270	270000	221	0,1105	0,0005525	14,69
280	280000	235	0,1175	0,0005875	15,23
290	290000	248	0,124	0,00062	15,77
300	300000	264	0,132	0,00066	16,32
310	310000	280	0,14	0,0007	16,86
320	320000	296	0,148	0,00074	17,41
330	330000	310	0,155	0,000775	17,95
340	340000	329	0,1645	0,0008225	18,49
350	350000	346	0,173	0,000865	19,04
360	360000	361	0,1805	0,0009025	19,58
370	370000	380	0,19	0,00095	20,12
380	380000	396	0,198	0,00099	20,67
390	390000	412	0,206	0,00103	21,21
400	400000	437	0,2185	0,0010925	21,76
410	410000	460	0,23	0,00115	22,30
420	420000	481	0,2405	0,0012025	22,84
430	430000	508	0,254	0,00127	23,39
440	440000	520	0,26	0,0013	23,93
450	450000	544	0,272	0,00136	24,48
460	460000	562	0,281	0,001405	25,02
470	470000	579	0,2895	0,0014475	25,56
480	480000	603	0,3015	0,0015075	26,11
490	490000	628	0,314	0,00157	26,65
500	500000	652	0,326	0,00163	27,20
510	510000	680	0,34	0,0017	27,74
520	520000	724	0,362	0,00181	28,28

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	755	0,3775	0,0018875	28,83
540	540000	780	0,39	0,00195	29,37
550	550000	805	0,4025	0,0020125	29,92
560	560000	842	0,421	0,002105	30,46
570	570000	875	0,4375	0,0021875	31,00
580	580000	922	0,461	0,002305	31,55
590	590000	960	0,48	0,0024	32,09
600	600000	993	0,4965	0,0024825	32,63
610	610000	1124	0,562	0,00281	33,18
600	600000	1248	0,624	0,00312	32,63
590	590000	1305	0,6525	0,0032625	32,09

Gambar L-5. 13 Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 2



Tabel L-5. 15 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,22	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	534	kN

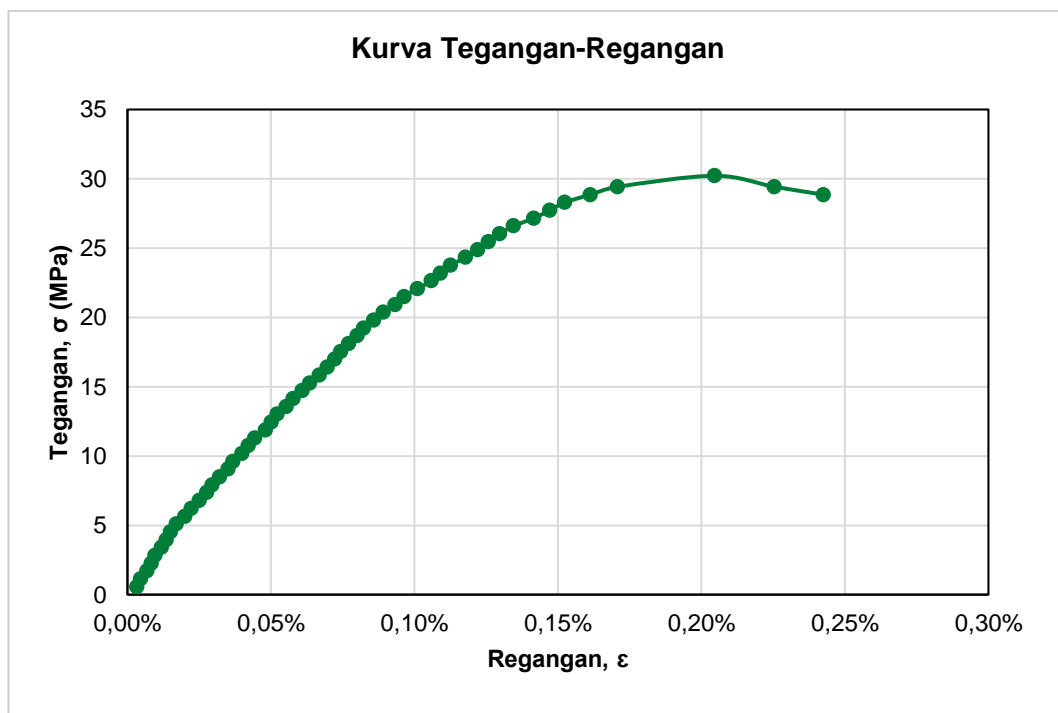
Output		
ASTM C-469	24693,1306	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25836,4171	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27272,40628	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,70
40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,26
50	50000	30	0,015	0,000075	2,83
60	60000	39	0,0195	0,0000975	3,40
70	70000	46	0,023	0,000115	3,96
80	80000	52	0,026	0,00013	4,53
90	90000	60	0,03	0,00015	5,09
100	100000	72	0,036	0,00018	5,66
110	110000	81	0,0405	0,0002025	6,22
120	120000	92	0,046	0,00023	6,79
130	130000	102	0,051	0,000255	7,36
140	140000	110	0,055	0,000275	7,92
150	150000	120	0,06	0,0003	8,49
160	160000	132	0,066	0,00033	9,05
170	170000	139	0,0695	0,0003475	9,62
180	180000	151	0,0755	0,0003775	10,19
190	190000	160	0,08	0,0004	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	169	0,0845	0,0004225	11,32
210	210000	184	0,092	0,00046	11,88
220	220000	192	0,096	0,00048	12,45
230	230000	200	0,1	0,0005	13,02
240	240000	213	0,1065	0,0005325	13,58
250	250000	223	0,1115	0,0005575	14,15
260	260000	235	0,1175	0,0005875	14,71
270	270000	246	0,123	0,000615	15,28
280	280000	259	0,1295	0,0006475	15,84
290	290000	270	0,135	0,000675	16,41
300	300000	281	0,1405	0,0007025	16,98
310	310000	289	0,1445	0,0007225	17,54
320	320000	300	0,15	0,00075	18,11
330	330000	312	0,156	0,00078	18,67
340	340000	321	0,1605	0,0008025	19,24
350	350000	335	0,1675	0,0008375	19,81
360	360000	348	0,174	0,00087	20,37
370	370000	365	0,1825	0,0009125	20,94
380	380000	377	0,1885	0,0009425	21,50
390	390000	396	0,198	0,00099	22,07
400	400000	415	0,2075	0,0010375	22,64
410	410000	428	0,214	0,00107	23,20
420	420000	442	0,221	0,001105	23,77
430	430000	463	0,2315	0,0011575	24,33
440	440000	480	0,24	0,0012	24,90
450	450000	495	0,2475	0,0012375	25,46
460	460000	510	0,255	0,001275	26,03
470	470000	530	0,265	0,001325	26,60
480	480000	558	0,279	0,001395	27,16
490	490000	580	0,29	0,00145	27,73
500	500000	601	0,3005	0,0015025	28,29
510	510000	637	0,3185	0,0015925	28,86
520	520000	675	0,3375	0,0016875	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
534	534000	810	0,405	0,002025	30,22
520	520000	893	0,4465	0,0022325	29,43
510	510000	962	0,481	0,002405	28,86

Gambar L-5. 14 Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 3



Tabel L-5. 16 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,43	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	545	kN

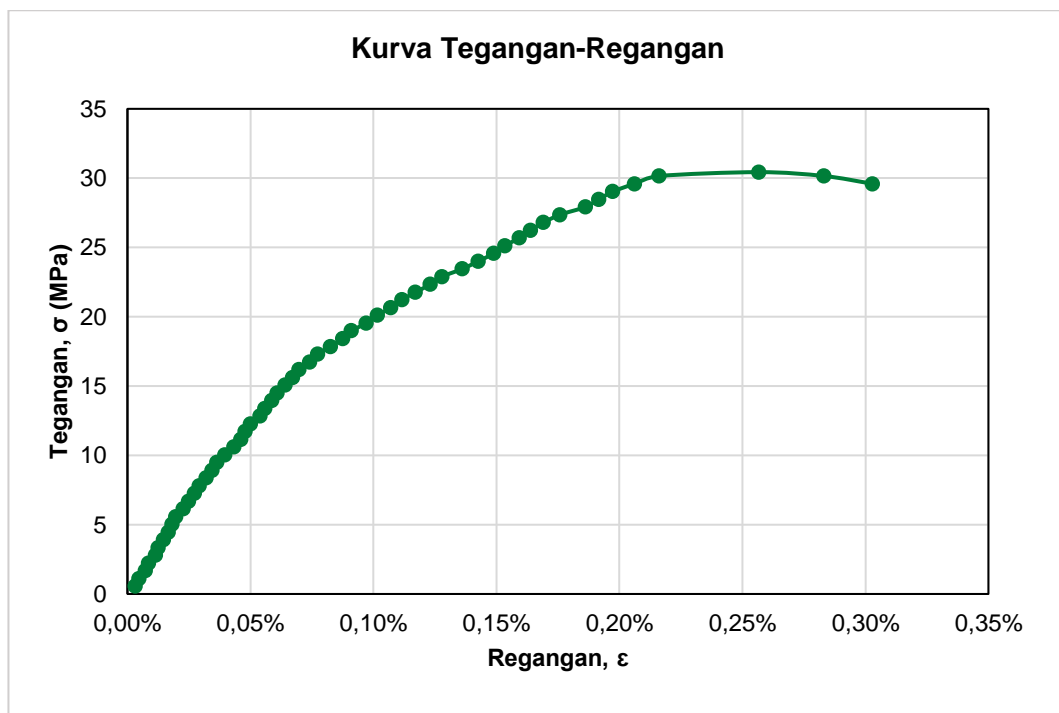
Output		
ASTM C-469	24818,3958	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	25928,3106	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	27098,87668	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,12
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,68
40	40000	26	0,013	0,000065	2,23
50	50000	37	0,0185	0,0000925	2,79
60	60000	42	0,021	0,000105	3,35
70	70000	50	0,025	0,000125	3,91
80	80000	58	0,029	0,000145	4,47
90	90000	64	0,032	0,00016	5,03
100	100000	70	0,035	0,000175	5,58
110	110000	82	0,041	0,000205	6,14
120	120000	91	0,0455	0,0002275	6,70
130	130000	101	0,0505	0,0002525	7,26
140	140000	108	0,054	0,00027	7,82
150	150000	120	0,06	0,0003	8,38
160	160000	129	0,0645	0,0003225	8,93
170	170000	137	0,0685	0,0003425	9,49
180	180000	150	0,075	0,000375	10,05
190	190000	165	0,0825	0,0004125	10,61

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	176	0,088	0,00044	11,17
210	210000	183	0,0915	0,0004575	11,73
220	220000	192	0,096	0,00048	12,29
230	230000	207	0,1035	0,0005175	12,84
240	240000	215	0,1075	0,0005375	13,40
250	250000	226	0,113	0,000565	13,96
260	260000	235	0,1175	0,0005875	14,52
270	270000	248	0,124	0,00062	15,08
280	280000	260	0,13	0,00065	15,64
290	290000	271	0,1355	0,0006775	16,19
300	300000	288	0,144	0,00072	16,75
310	310000	301	0,1505	0,0007525	17,31
320	320000	322	0,161	0,000805	17,87
330	330000	342	0,171	0,000855	18,43
340	340000	356	0,178	0,00089	18,99
350	350000	380	0,19	0,00095	19,54
360	360000	398	0,199	0,000995	20,10
370	370000	420	0,21	0,00105	20,66
380	380000	438	0,219	0,001095	21,22
390	390000	460	0,23	0,00115	21,78
400	400000	484	0,242	0,00121	22,34
410	410000	503	0,2515	0,0012575	22,89
420	420000	536	0,268	0,00134	23,45
430	430000	562	0,281	0,001405	24,01
440	440000	587	0,2935	0,0014675	24,57
450	450000	605	0,3025	0,0015125	25,13
460	460000	629	0,3145	0,0015725	25,69
470	470000	647	0,3235	0,0016175	26,25
480	480000	668	0,334	0,00167	26,80
490	490000	695	0,3475	0,0017375	27,36
500	500000	736	0,368	0,00184	27,92
510	510000	758	0,379	0,001895	28,48
520	520000	781	0,3905	0,0019525	29,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
530	530000	816	0,408	0,00204	29,60
540	540000	856	0,428	0,00214	30,15
545	545000	1018	0,509	0,002545	30,43
540	540000	1124	0,562	0,00281	30,15
530	530000	1203	0,6015	0,0030075	29,60

Gambar L-5. 15 Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 4



Tabel L-5. 17 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(10%) Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,58	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	298	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	558	kN

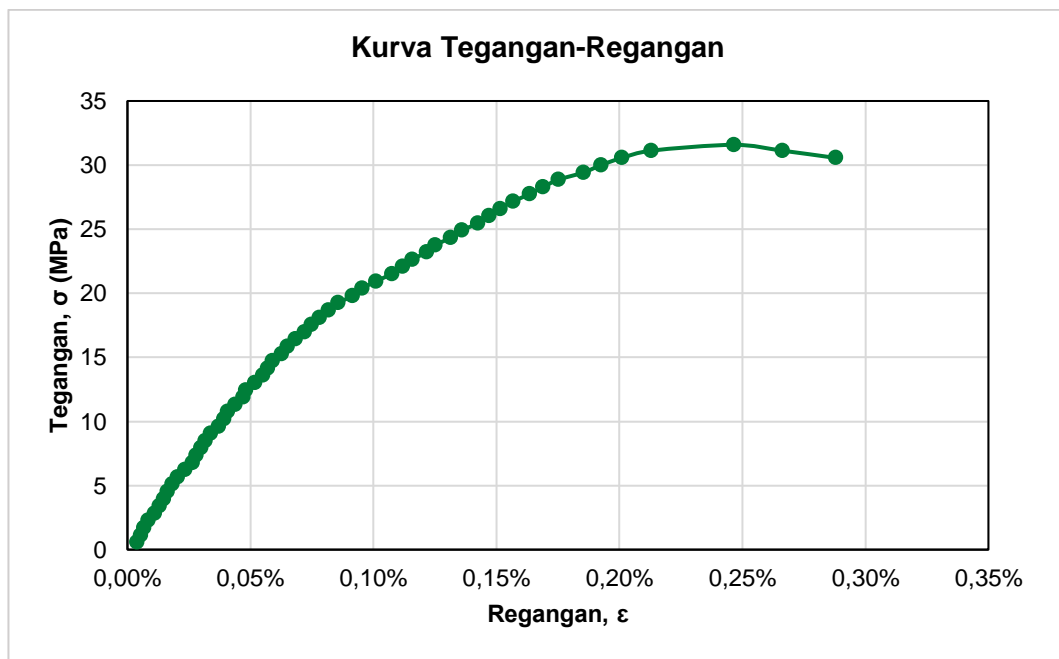
Output		
ASTM C-469	25624,9468	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26410,6298	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	28058,81425	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,70
40	40000	22	0,011	0,000055	2,26
50	50000	32	0,016	0,00008	2,83
60	60000	40	0,02	0,0001	3,40
70	70000	47	0,0235	0,0001175	3,96
80	80000	53	0,0265	0,0001325	4,53
90	90000	61	0,0305	0,0001525	5,09
100	100000	70	0,035	0,000175	5,66
110	110000	82	0,041	0,000205	6,22
120	120000	94	0,047	0,000235	6,79
130	130000	100	0,05	0,00025	7,36
140	140000	108	0,054	0,00027	7,92
150	150000	115	0,0575	0,0002875	8,49
160	160000	123	0,0615	0,0003075	9,05
170	170000	136	0,068	0,00034	9,62
180	180000	145	0,0725	0,0003625	10,19
190	190000	151	0,0755	0,0003775	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	163	0,0815	0,0004075	11,32
210	210000	176	0,088	0,00044	11,88
220	220000	181	0,0905	0,0004525	12,45
230	230000	195	0,0975	0,0004875	13,02
240	240000	208	0,104	0,00052	13,58
250	250000	216	0,108	0,00054	14,15
260	260000	224	0,112	0,00056	14,71
270	270000	239	0,1195	0,0005975	15,28
280	280000	248	0,124	0,00062	15,84
290	290000	261	0,1305	0,0006525	16,41
300	300000	276	0,138	0,00069	16,98
310	310000	287	0,1435	0,0007175	17,54
320	320000	300	0,15	0,00075	18,11
330	330000	315	0,1575	0,0007875	18,67
340	340000	331	0,1655	0,0008275	19,24
350	350000	354	0,177	0,000885	19,81
360	360000	370	0,185	0,000925	20,37
370	370000	392	0,196	0,00098	20,94
380	380000	418	0,209	0,001045	21,50
390	390000	436	0,218	0,00109	22,07
400	400000	451	0,2255	0,0011275	22,64
410	410000	475	0,2375	0,0011875	23,20
420	420000	489	0,2445	0,0012225	23,77
430	430000	514	0,257	0,001285	24,33
440	440000	532	0,266	0,00133	24,90
450	450000	558	0,279	0,001395	25,46
460	460000	576	0,288	0,00144	26,03
470	470000	594	0,297	0,001485	26,60
480	480000	615	0,3075	0,0015375	27,16
490	490000	642	0,321	0,001605	27,73
500	500000	664	0,332	0,00166	28,29
510	510000	689	0,3445	0,0017225	28,86
520	520000	730	0,365	0,001825	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	758	0,379	0,001895	29,99
540	540000	792	0,396	0,00198	30,56
550	550000	840	0,42	0,0021	31,12
558	558000	974	0,487	0,002435	31,58
550	550000	1053	0,5265	0,0026325	31,12
540	540000	1140	0,57	0,00285	30,56

Gambar L-5. 16 Kurva Tegangan-Regangan M(10%) Sampel 5



Tabel L-5. 18 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	34,35	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	301	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	607	kN

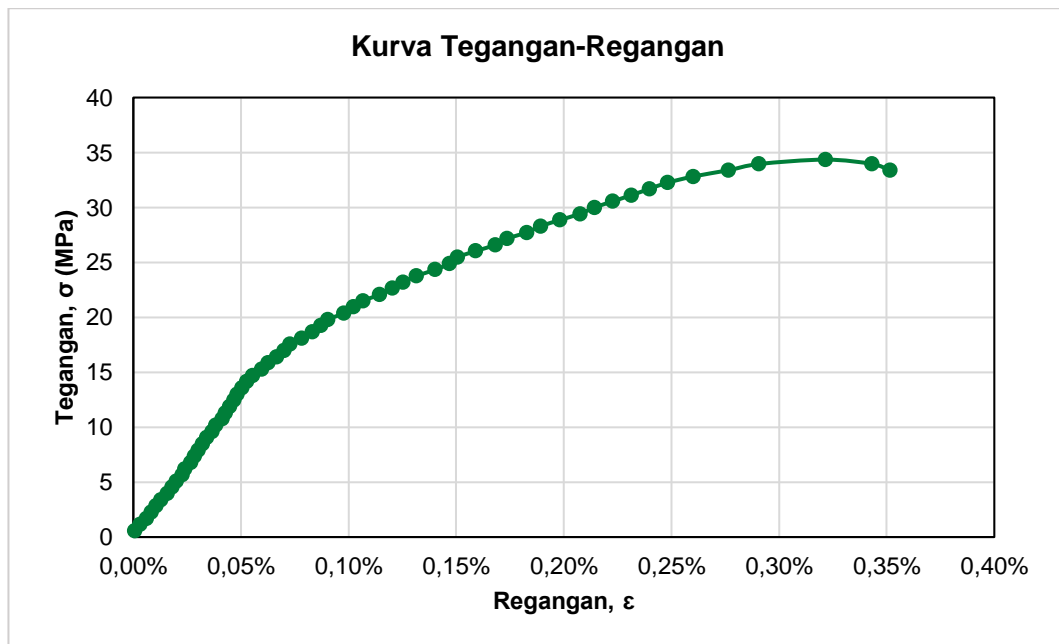
Output		
ASTM C-469	26855,5234	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	27545,8389	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	28807,73709	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	24	0,012	0,00006	1,70
40	40000	32	0,016	0,00008	2,26
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,83
60	60000	50	0,025	0,000125	3,40
70	70000	62	0,031	0,000155	3,96
80	80000	71	0,0355	0,0001775	4,53
90	90000	79	0,0395	0,0001975	5,09
100	100000	90	0,045	0,000225	5,66
110	110000	95	0,0475	0,0002375	6,22
120	120000	106	0,053	0,000265	6,79
130	130000	113	0,0565	0,0002825	7,36
140	140000	120	0,06	0,0003	7,92
150	150000	128	0,064	0,00032	8,49
160	160000	136	0,068	0,00034	9,05
170	170000	145	0,0725	0,0003625	9,62
180	180000	152	0,076	0,00038	10,19
190	190000	164	0,082	0,00041	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	170	0,085	0,000425	11,32
210	210000	178	0,089	0,000445	11,88
220	220000	186	0,093	0,000465	12,45
230	230000	192	0,096	0,00048	13,02
240	240000	201	0,1005	0,0005025	13,58
250	250000	210	0,105	0,000525	14,15
260	260000	221	0,1105	0,0005525	14,71
270	270000	238	0,119	0,000595	15,28
280	280000	250	0,125	0,000625	15,84
290	290000	265	0,1325	0,0006625	16,41
300	300000	279	0,1395	0,0006975	16,98
310	310000	290	0,145	0,000725	17,54
320	320000	312	0,156	0,00078	18,11
330	330000	332	0,166	0,00083	18,67
340	340000	348	0,174	0,00087	19,24
350	350000	361	0,1805	0,0009025	19,81
360	360000	390	0,195	0,000975	20,37
370	370000	408	0,204	0,00102	20,94
380	380000	426	0,213	0,001065	21,50
390	390000	457	0,2285	0,0011425	22,07
400	400000	481	0,2405	0,0012025	22,64
410	410000	500	0,25	0,00125	23,20
420	420000	525	0,2625	0,0013125	23,77
430	430000	560	0,28	0,0014	24,33
440	440000	587	0,2935	0,0014675	24,90
450	450000	601	0,3005	0,0015025	25,46
460	460000	635	0,3175	0,0015875	26,03
470	470000	672	0,336	0,00168	26,60
480	480000	694	0,347	0,001735	27,16
490	490000	730	0,365	0,001825	27,73
500	500000	756	0,378	0,00189	28,29
510	510000	792	0,396	0,00198	28,86
520	520000	829	0,4145	0,0020725	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
530	530000	856	0,428	0,00214	29,99
540	540000	890	0,445	0,002225	30,56
550	550000	925	0,4625	0,0023125	31,12
560	560000	958	0,479	0,002395	31,69
570	570000	992	0,496	0,00248	32,26
580	580000	1040	0,52	0,0026	32,82
590	590000	1105	0,5525	0,0027625	33,39
600	600000	1162	0,581	0,002905	33,95
607	607000	1285	0,6425	0,0032125	34,35
600	600000	1372	0,686	0,00343	33,95
590	590000	1405	0,7025	0,0035125	33,39

Gambar L-5. 17 Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 1



Tabel L-5. 19 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	33,61	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	594	kN

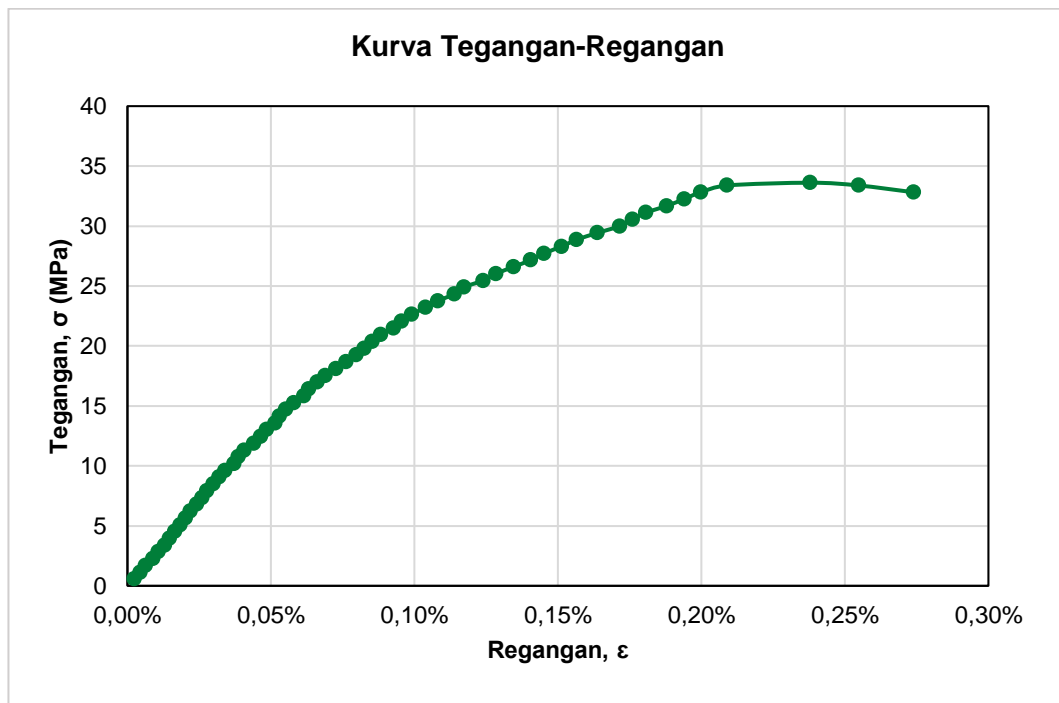
Output		
ASTM C-469	26262,0311	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	27249,2705	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	28994,286	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,57
20	20000	17	0,0085	0,0000425	1,13
30	30000	24	0,012	0,00006	1,70
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,26
50	50000	42	0,021	0,000105	2,83
60	60000	51	0,0255	0,0001275	3,40
70	70000	58	0,029	0,000145	3,96
80	80000	65	0,0325	0,0001625	4,53
90	90000	73	0,0365	0,0001825	5,09
100	100000	80	0,04	0,0002	5,66
110	110000	87	0,0435	0,0002175	6,22
120	120000	96	0,048	0,00024	6,79
130	130000	103	0,0515	0,0002575	7,36
140	140000	110	0,055	0,000275	7,92
150	150000	119	0,0595	0,0002975	8,49
160	160000	127	0,0635	0,0003175	9,05
170	170000	135	0,0675	0,0003375	9,62
180	180000	148	0,074	0,00037	10,19
190	190000	154	0,077	0,000385	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	162	0,081	0,000405	11,32
210	210000	175	0,0875	0,0004375	11,88
220	220000	185	0,0925	0,0004625	12,45
230	230000	193	0,0965	0,0004825	13,02
240	240000	205	0,1025	0,0005125	13,58
250	250000	211	0,1055	0,0005275	14,15
260	260000	220	0,11	0,00055	14,71
270	270000	231	0,1155	0,0005775	15,28
280	280000	245	0,1225	0,0006125	15,84
290	290000	252	0,126	0,00063	16,41
300	300000	264	0,132	0,00066	16,98
310	310000	275	0,1375	0,0006875	17,54
320	320000	290	0,145	0,000725	18,11
330	330000	304	0,152	0,00076	18,67
340	340000	318	0,159	0,000795	19,24
350	350000	329	0,1645	0,0008225	19,81
360	360000	340	0,17	0,00085	20,37
370	370000	352	0,176	0,00088	20,94
380	380000	370	0,185	0,000925	21,50
390	390000	381	0,1905	0,0009525	22,07
400	400000	395	0,1975	0,0009875	22,64
410	410000	415	0,2075	0,0010375	23,20
420	420000	432	0,216	0,00108	23,77
430	430000	455	0,2275	0,0011375	24,33
440	440000	468	0,234	0,00117	24,90
450	450000	495	0,2475	0,0012375	25,46
460	460000	513	0,2565	0,0012825	26,03
470	470000	537	0,2685	0,0013425	26,60
480	480000	561	0,2805	0,0014025	27,16
490	490000	580	0,29	0,00145	27,73
500	500000	604	0,302	0,00151	28,29
510	510000	625	0,3125	0,0015625	28,86
520	520000	654	0,327	0,001635	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	685	0,3425	0,0017125	29,99
540	540000	703	0,3515	0,0017575	30,56
550	550000	722	0,361	0,001805	31,12
560	560000	751	0,3755	0,0018775	31,69
570	570000	775	0,3875	0,0019375	32,26
580	580000	798	0,399	0,001995	32,82
590	590000	835	0,4175	0,0020875	33,39
594	594000	951	0,4755	0,0023775	33,61
590	590000	1018	0,509	0,002545	33,39
580	580000	1095	0,5475	0,0027375	32,82

Gambar L-5. 18 Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 2



Tabel L-5. 20 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,11	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	532	kN

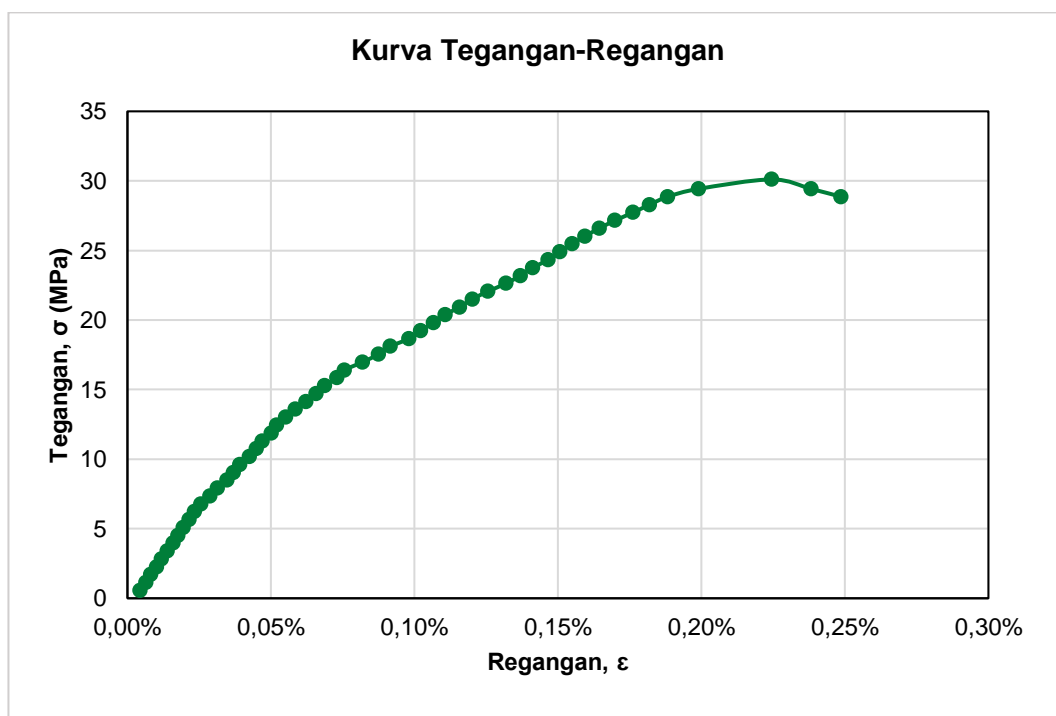
Output		
ASTM C-469	24252,1818	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	25787,9889	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	27514,44221	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,13
30	30000	20	0,01	0,00005	1,70
40	40000	28	0,014	0,00007	2,26
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,83
60	60000	43	0,0215	0,0001075	3,40
70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,96
80	80000	58	0,029	0,000145	4,53
90	90000	65	0,0325	0,0001625	5,09
100	100000	73	0,0365	0,0001825	5,66
110	110000	81	0,0405	0,0002025	6,22
120	120000	90	0,045	0,000225	6,79
130	130000	102	0,051	0,000255	7,36
140	140000	113	0,0565	0,0002825	7,92
150	150000	126	0,063	0,000315	8,49
160	160000	135	0,0675	0,0003375	9,05
170	170000	144	0,072	0,00036	9,62
180	180000	157	0,0785	0,0003925	10,19
190	190000	167	0,0835	0,0004175	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	175	0,0875	0,0004375	11,32
210	210000	188	0,094	0,00047	11,88
220	220000	195	0,0975	0,0004875	12,45
230	230000	208	0,104	0,00052	13,02
240	240000	221	0,1105	0,0005525	13,58
250	250000	236	0,118	0,00059	14,15
260	260000	250	0,125	0,000625	14,71
270	270000	262	0,131	0,000655	15,28
280	280000	279	0,1395	0,0006975	15,84
290	290000	290	0,145	0,000725	16,41
300	300000	315	0,1575	0,0007875	16,98
310	310000	337	0,1685	0,0008425	17,54
320	320000	354	0,177	0,000885	18,11
330	330000	380	0,19	0,00095	18,67
340	340000	396	0,198	0,00099	19,24
350	350000	414	0,207	0,001035	19,81
360	360000	430	0,215	0,001075	20,37
370	370000	450	0,225	0,001125	20,94
380	380000	468	0,234	0,00117	21,50
390	390000	490	0,245	0,001225	22,07
400	400000	515	0,2575	0,0012875	22,64
410	410000	535	0,2675	0,0013375	23,20
420	420000	552	0,276	0,00138	23,77
430	430000	574	0,287	0,001435	24,33
440	440000	590	0,295	0,001475	24,90
450	450000	607	0,3035	0,0015175	25,46
460	460000	625	0,3125	0,0015625	26,03
470	470000	645	0,3225	0,0016125	26,60
480	480000	667	0,3335	0,0016675	27,16
490	490000	692	0,346	0,00173	27,73
500	500000	715	0,3575	0,0017875	28,29
510	510000	740	0,37	0,00185	28,86
520	520000	783	0,3915	0,0019575	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
532	532000	885	0,4425	0,0022125	30,11
520	520000	940	0,47	0,00235	29,43
510	510000	982	0,491	0,002455	28,86

Gambar L-5. 19 Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 3



Tabel L-5. 21 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	35,04	Mpa
Diameter	149	mm
Tinggi	301	mm
Luas	1743662	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	611	kN

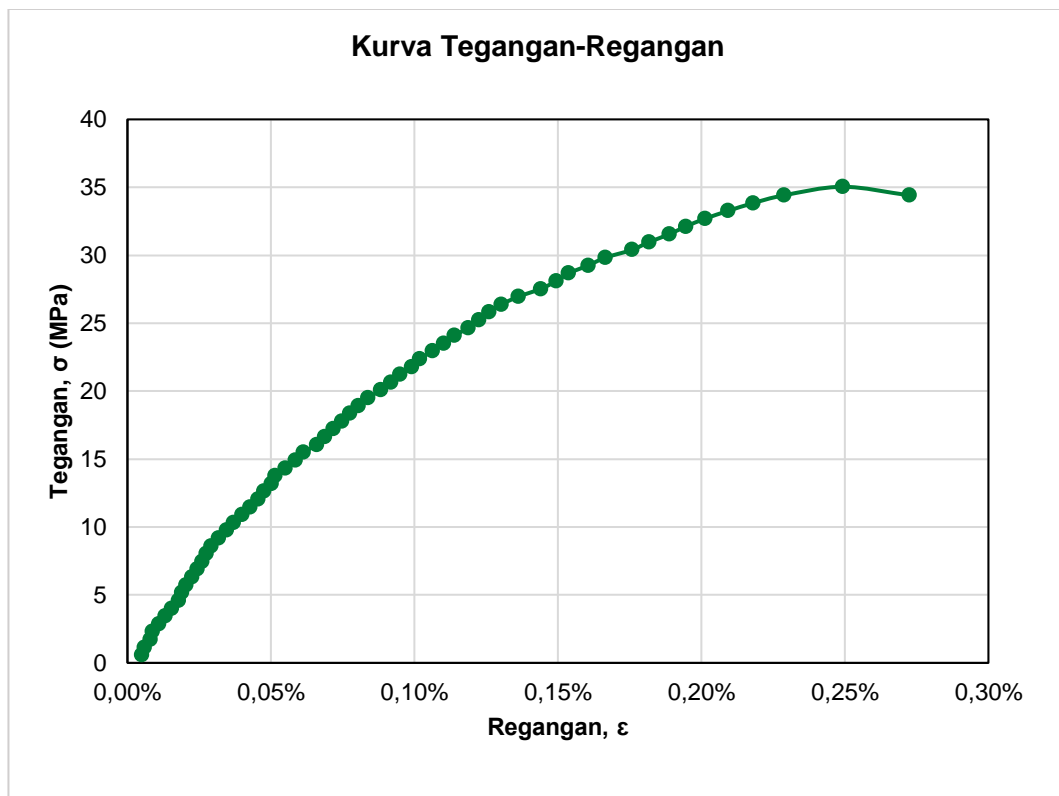
Output		
ASTM C-469	26830,6663	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	27821,9300	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	29700,4773	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,15
30	30000	17	0,0085	0,0000425	1,72
40	40000	20	0,01	0,00005	2,29
50	50000	29	0,0145	0,0000725	2,87
60	60000	38	0,019	0,000095	3,44
70	70000	47	0,0235	0,0001175	4,01
80	80000	56	0,028	0,00014	4,59
90	90000	61	0,0305	0,0001525	5,16
100	100000	67	0,0335	0,0001675	5,74
110	110000	75	0,0375	0,0001875	6,31
120	120000	82	0,041	0,000205	6,88
130	130000	89	0,0445	0,0002225	7,46
140	140000	95	0,0475	0,0002375	8,03
150	150000	102	0,051	0,000255	8,60
160	160000	112	0,056	0,00028	9,18
170	170000	123	0,0615	0,0003075	9,75
180	180000	133	0,0665	0,0003325	10,32
190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,90

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	156	0,078	0,00039	11,47
210	210000	167	0,0835	0,0004175	12,04
220	220000	175	0,0875	0,0004375	12,62
230	230000	186	0,093	0,000465	13,19
240	240000	191	0,0955	0,0004775	13,76
250	250000	205	0,1025	0,0005125	14,34
260	260000	219	0,1095	0,0005475	14,91
270	270000	230	0,115	0,000575	15,48
280	280000	249	0,1245	0,0006225	16,06
290	290000	260	0,13	0,00065	16,63
300	300000	272	0,136	0,00068	17,21
310	310000	284	0,142	0,00071	17,78
320	320000	295	0,1475	0,0007375	18,35
330	330000	307	0,1535	0,0007675	18,93
340	340000	320	0,16	0,0008	19,50
350	350000	338	0,169	0,000845	20,07
360	360000	352	0,176	0,00088	20,65
370	370000	365	0,1825	0,0009125	21,22
380	380000	381	0,1905	0,0009525	21,79
390	390000	392	0,196	0,00098	22,37
400	400000	410	0,205	0,001025	22,94
410	410000	426	0,213	0,001065	23,51
420	420000	441	0,2205	0,0011025	24,09
430	430000	460	0,23	0,00115	24,66
440	440000	475	0,2375	0,0011875	25,23
450	450000	489	0,2445	0,0012225	25,81
460	460000	506	0,253	0,001265	26,38
470	470000	530	0,265	0,001325	26,95
480	480000	561	0,2805	0,0014025	27,53
490	490000	583	0,2915	0,0014575	28,10
500	500000	600	0,3	0,0015	28,68
510	510000	627	0,3135	0,0015675	29,25
520	520000	651	0,3255	0,0016275	29,82

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	688	0,344	0,00172	30,40
540	540000	712	0,356	0,00178	30,97
550	550000	740	0,37	0,00185	31,54
560	560000	763	0,3815	0,0019075	32,12
570	570000	790	0,395	0,001975	32,69
580	580000	822	0,411	0,002055	33,26
590	590000	857	0,4285	0,0021425	33,84
600	600000	900	0,45	0,00225	34,41
611	611000	982	0,491	0,002455	35,04
600	600000	1075	0,5375	0,0026875	34,41

Gambar L-5. 20 Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 4



Tabel L-5. 22 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(15%) Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	29,43	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	302	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	520	kN

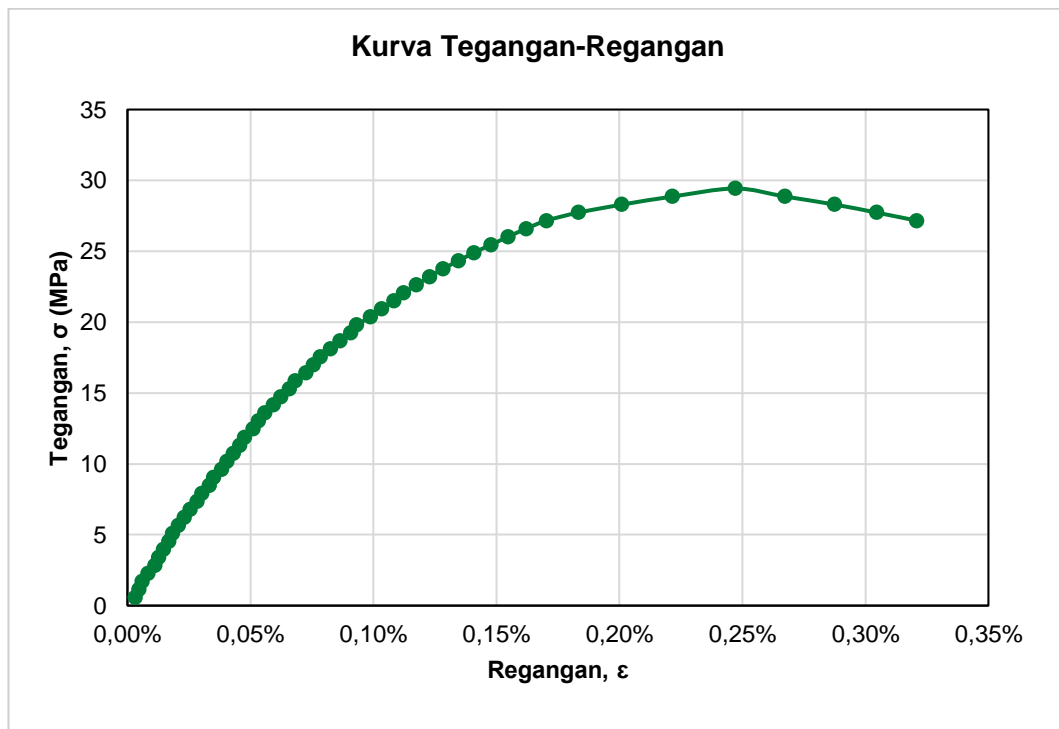
Output		
ASTM C-469	24544,3768	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25495,4881	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	26683,83014	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	10	0,005	0,000025	0,57
20	20000	16	0,008	0,00004	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	30	0,015	0,000075	2,26
50	50000	42	0,021	0,000105	2,83
60	60000	48	0,024	0,00012	3,40
70	70000	56	0,028	0,00014	3,96
80	80000	64	0,032	0,00016	4,53
90	90000	70	0,035	0,000175	5,09
100	100000	80	0,04	0,0002	5,66
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,22
120	120000	99	0,0495	0,0002475	6,79
130	130000	110	0,055	0,000275	7,36
140	140000	118	0,059	0,000295	7,92
150	150000	130	0,065	0,000325	8,49
160	160000	137	0,0685	0,0003425	9,05
170	170000	150	0,075	0,000375	9,62
180	180000	159	0,0795	0,0003975	10,19
190	190000	169	0,0845	0,0004225	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	180	0,09	0,00045	11,32
210	210000	187	0,0935	0,0004675	11,88
220	220000	201	0,1005	0,0005025	12,45
230	230000	210	0,105	0,000525	13,02
240	240000	220	0,11	0,00055	13,58
250	250000	234	0,117	0,000585	14,15
260	260000	246	0,123	0,000615	14,71
270	270000	260	0,13	0,00065	15,28
280	280000	270	0,135	0,000675	15,84
290	290000	287	0,1435	0,0007175	16,41
300	300000	299	0,1495	0,0007475	16,98
310	310000	311	0,1555	0,0007775	17,54
320	320000	327	0,1635	0,0008175	18,11
330	330000	343	0,1715	0,0008575	18,67
340	340000	360	0,18	0,0009	19,24
350	350000	370	0,185	0,000925	19,81
360	360000	392	0,196	0,00098	20,37
370	370000	410	0,205	0,001025	20,94
380	380000	430	0,215	0,001075	21,50
390	390000	446	0,223	0,001115	22,07
400	400000	467	0,2335	0,0011675	22,64
410	410000	488	0,244	0,00122	23,20
420	420000	510	0,255	0,001275	23,77
430	430000	535	0,2675	0,0013375	24,33
440	440000	560	0,28	0,0014	24,90
450	450000	588	0,294	0,00147	25,46
460	460000	616	0,308	0,00154	26,03
470	470000	645	0,3225	0,0016125	26,60
480	480000	678	0,339	0,001695	27,16
490	490000	730	0,365	0,001825	27,73
500	500000	801	0,4005	0,0020025	28,29
510	510000	883	0,4415	0,0022075	28,86
520	520000	985	0,4925	0,0024625	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
510	510000	1066	0,533	0,002665	28,86
500	500000	1147	0,5735	0,0028675	28,29
490	490000	1215	0,6075	0,0030375	27,73
480	480000	1280	0,64	0,0032	27,16

Gambar L-5. 21 Kurva Tegangan-Regangan M(15%) Sampel 5



Tabel L-5. 23 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,69	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	560	kN

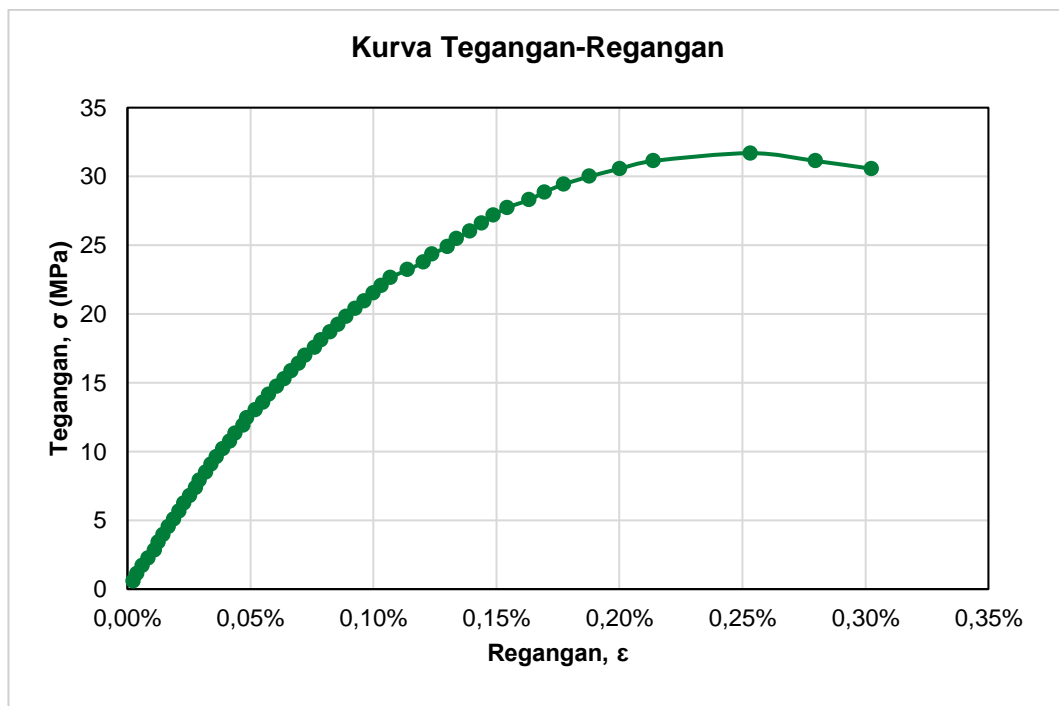
Output		
ASTM C-469	25298,3544	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26457,9183	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	28058,65305	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,70
40	40000	29	0,0145	0,0000725	2,26
50	50000	39	0,0195	0,0000975	2,83
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,40
70	70000	53	0,0265	0,0001325	3,96
80	80000	62	0,031	0,000155	4,53
90	90000	70	0,035	0,000175	5,09
100	100000	79	0,0395	0,0001975	5,66
110	110000	87	0,0435	0,0002175	6,22
120	120000	96	0,048	0,00024	6,79
130	130000	106	0,053	0,000265	7,36
140	140000	112	0,056	0,00028	7,92
150	150000	122	0,061	0,000305	8,49
160	160000	131	0,0655	0,0003275	9,05
170	170000	140	0,07	0,00035	9,62
180	180000	150	0,075	0,000375	10,19
190	190000	161	0,0805	0,0004025	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	170	0,085	0,000425	11,32
210	210000	183	0,0915	0,0004575	11,88
220	220000	189	0,0945	0,0004725	12,45
230	230000	203	0,1015	0,0005075	13,02
240	240000	215	0,1075	0,0005375	13,58
250	250000	225	0,1125	0,0005625	14,15
260	260000	238	0,119	0,000595	14,71
270	270000	250	0,125	0,000625	15,28
280	280000	261	0,1305	0,0006525	15,84
290	290000	273	0,1365	0,0006825	16,41
300	300000	284	0,142	0,00071	16,98
310	310000	299	0,1495	0,0007475	17,54
320	320000	310	0,155	0,000775	18,11
330	330000	324	0,162	0,00081	18,67
340	340000	337	0,1685	0,0008425	19,24
350	350000	350	0,175	0,000875	19,81
360	360000	365	0,1825	0,0009125	20,37
370	370000	380	0,19	0,00095	20,94
380	380000	395	0,1975	0,0009875	21,50
390	390000	408	0,204	0,00102	22,07
400	400000	422	0,211	0,001055	22,64
410	410000	450	0,225	0,001125	23,20
420	420000	476	0,238	0,00119	23,77
430	430000	490	0,245	0,001225	24,33
440	440000	515	0,2575	0,0012875	24,90
450	450000	530	0,265	0,001325	25,46
460	460000	552	0,276	0,00138	26,03
470	470000	571	0,2855	0,0014275	26,60
480	480000	590	0,295	0,001475	27,16
490	490000	612	0,306	0,00153	27,73
500	500000	648	0,324	0,00162	28,29
510	510000	673	0,3365	0,0016825	28,86
520	520000	704	0,352	0,00176	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	746	0,373	0,001865	29,99
540	540000	795	0,3975	0,0019875	30,56
550	550000	850	0,425	0,002125	31,12
560	560000	1008	0,504	0,00252	31,69
550	550000	1114	0,557	0,002785	31,12
540	540000	1205	0,6025	0,0030125	30,56

Gambar L-5. 22 Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 1



Tabel L-5. 24 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	33,44	Mpa
Diameter	149	mm
Tinggi	301	mm
Luas	1743662	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	583	kN

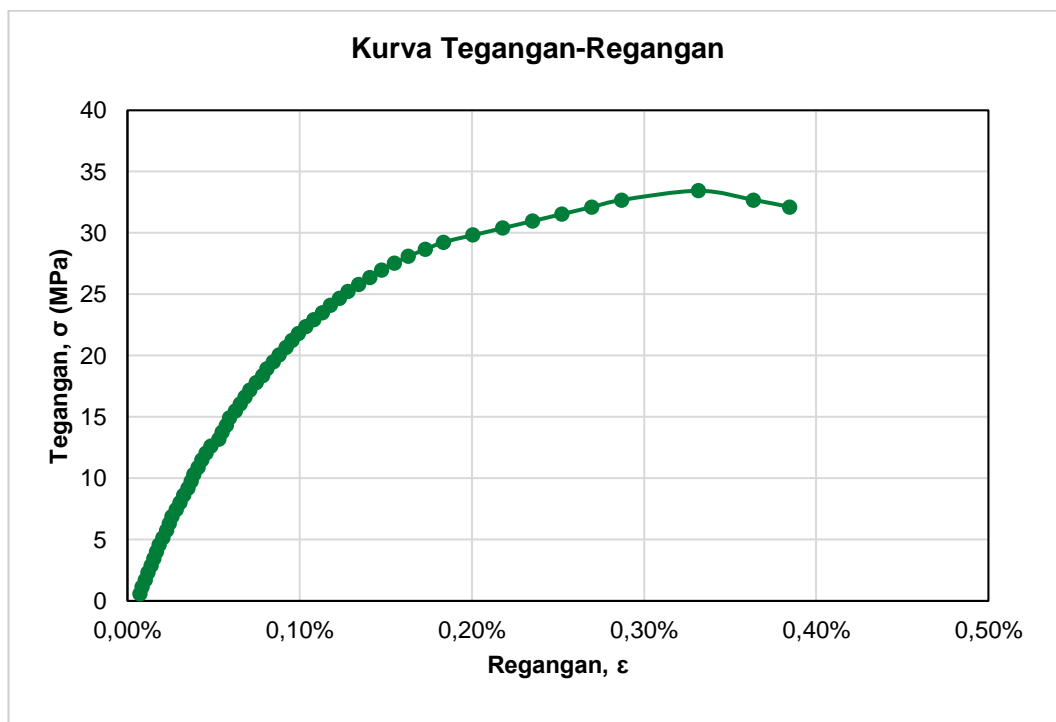
Output		
ASTM C-469	26830,6663	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f _c)	27176,9632	MPa
SNI 2847-2019 (W _c ^{1,5} x 0,043 x f _c)	29520,6718	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,15
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,72
40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,29
50	50000	32	0,016	0,00008	2,87
60	60000	39	0,0195	0,0000975	3,44
70	70000	45	0,0225	0,0001125	4,01
80	80000	51	0,0255	0,0001275	4,59
90	90000	60	0,03	0,00015	5,16
100	100000	68	0,034	0,00017	5,74
110	110000	75	0,0375	0,0001875	6,31
120	120000	81	0,0405	0,0002025	6,88
130	130000	91	0,0455	0,0002275	7,46
140	140000	100	0,05	0,00025	8,03
150	150000	108	0,054	0,00027	8,60
160	160000	118	0,059	0,000295	9,18
170	170000	125	0,0625	0,0003125	9,75
180	180000	132	0,066	0,00033	10,32
190	190000	141	0,0705	0,0003525	10,90

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	150	0,075	0,000375	11,47
210	210000	160	0,08	0,0004	12,04
220	220000	171	0,0855	0,0004275	12,62
230	230000	190	0,095	0,000475	13,19
240	240000	197	0,0985	0,0004925	13,76
250	250000	207	0,1035	0,0005175	14,34
260	260000	215	0,1075	0,0005375	14,91
270	270000	228	0,114	0,00057	15,48
280	280000	240	0,12	0,0006	16,06
290	290000	251	0,1255	0,0006275	16,63
300	300000	262	0,131	0,000655	17,21
310	310000	276	0,138	0,00069	17,78
320	320000	291	0,1455	0,0007275	18,35
330	330000	301	0,1505	0,0007525	18,93
340	340000	316	0,158	0,00079	19,50
350	350000	330	0,165	0,000825	20,07
360	360000	346	0,173	0,000865	20,65
370	370000	360	0,18	0,0009	21,22
380	380000	375	0,1875	0,0009375	21,79
390	390000	392	0,196	0,00098	22,37
400	400000	410	0,205	0,001025	22,94
410	410000	430	0,215	0,001075	23,51
420	420000	449	0,2245	0,0011225	24,09
430	430000	470	0,235	0,001175	24,66
440	440000	490	0,245	0,001225	25,23
450	450000	515	0,2575	0,0012875	25,81
460	460000	540	0,27	0,00135	26,38
470	470000	568	0,284	0,00142	26,95
480	480000	598	0,299	0,001495	27,53
490	490000	630	0,315	0,001575	28,10
500	500000	670	0,335	0,001675	28,68
510	510000	711	0,3555	0,0017775	29,25
520	520000	780	0,39	0,00195	29,82

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
530	530000	849	0,4245	0,0021225	30,40
540	540000	918	0,459	0,002295	30,97
550	550000	987	0,4935	0,0024675	31,54
560	560000	1056	0,528	0,00264	32,12
570	570000	1125	0,5625	0,0028125	32,69
583	583000	1304	0,652	0,00326	33,44
570	570000	1432	0,716	0,00358	32,69
560	560000	1516	0,758	0,00379	32,12

Gambar L-5. 23 Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 2



Tabel L-5. 25 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,80	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	299	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	509	kN

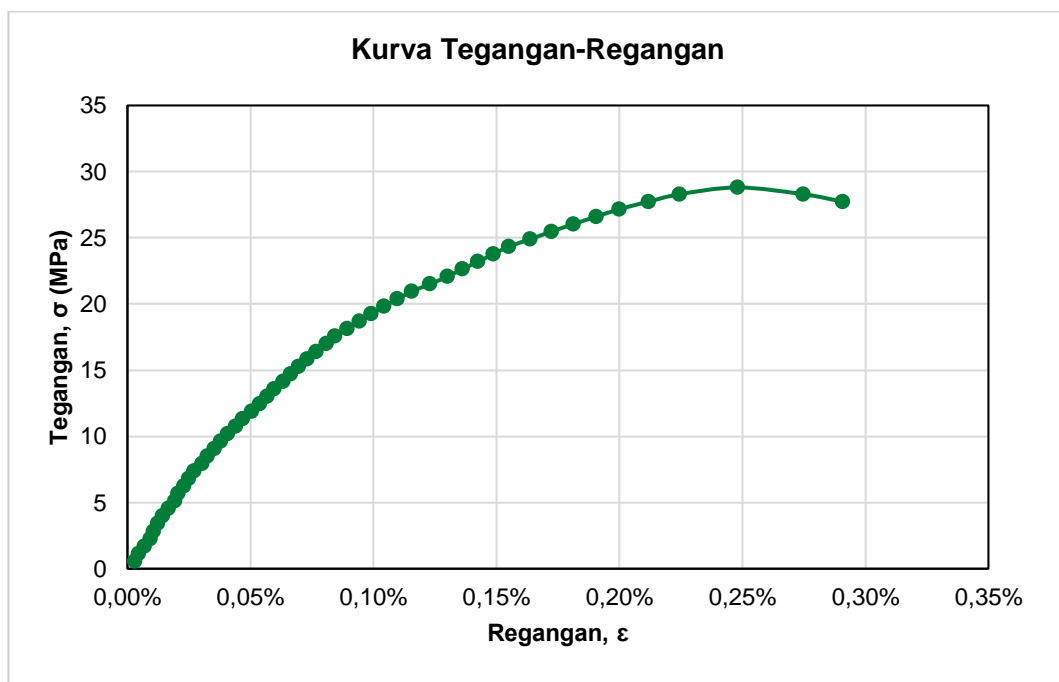
Output		
ASTM C-469	24201,3387	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25224,3828	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	26418,761	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	30	0,015	0,000075	2,26
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,83
60	60000	42	0,021	0,000105	3,40
70	70000	50	0,025	0,000125	3,96
80	80000	60	0,03	0,00015	4,53
90	90000	70	0,035	0,000175	5,09
100	100000	75	0,0375	0,0001875	5,66
110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,22
120	120000	93	0,0465	0,0002325	6,79
130	130000	101	0,0505	0,0002525	7,36
140	140000	114	0,057	0,000285	7,92
150	150000	123	0,0615	0,0003075	8,49
160	160000	134	0,067	0,000335	9,05
170	170000	145	0,0725	0,0003625	9,62
180	180000	156	0,078	0,00039	10,19
190	190000	169	0,0845	0,0004225	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	180	0,09	0,00045	11,32
210	210000	195	0,0975	0,0004875	11,88
220	220000	208	0,104	0,00052	12,45
230	230000	220	0,11	0,00055	13,02
240	240000	231	0,1155	0,0005775	13,58
250	250000	246	0,123	0,000615	14,15
260	260000	258	0,129	0,000645	14,71
270	270000	271	0,1355	0,0006775	15,28
280	280000	285	0,1425	0,0007125	15,84
290	290000	300	0,15	0,00075	16,41
300	300000	316	0,158	0,00079	16,98
310	310000	330	0,165	0,000825	17,54
320	320000	350	0,175	0,000875	18,11
330	330000	370	0,185	0,000925	18,67
340	340000	389	0,1945	0,0009725	19,24
350	350000	410	0,205	0,001025	19,81
360	360000	432	0,216	0,00108	20,37
370	370000	455	0,2275	0,0011375	20,94
380	380000	485	0,2425	0,0012125	21,50
390	390000	513	0,2565	0,0012825	22,07
400	400000	538	0,269	0,001345	22,64
410	410000	563	0,2815	0,0014075	23,20
420	420000	588	0,294	0,00147	23,77
430	430000	613	0,3065	0,0015325	24,33
440	440000	648	0,324	0,00162	24,90
450	450000	682	0,341	0,001705	25,46
460	460000	718	0,359	0,001795	26,03
470	470000	755	0,3775	0,0018875	26,60
480	480000	793	0,3965	0,0019825	27,16
490	490000	840	0,42	0,0021	27,73
500	500000	891	0,4455	0,0022275	28,29
509	509000	985	0,4925	0,0024625	28,80
500	500000	1092	0,546	0,00273	28,29

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
490	490000	1156	0,578	0,00289	27,73

Gambar L-5. 24 Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 3



Tabel L-5. 26 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,27	Mpa
Diameter	151	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1790786	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	560	kN

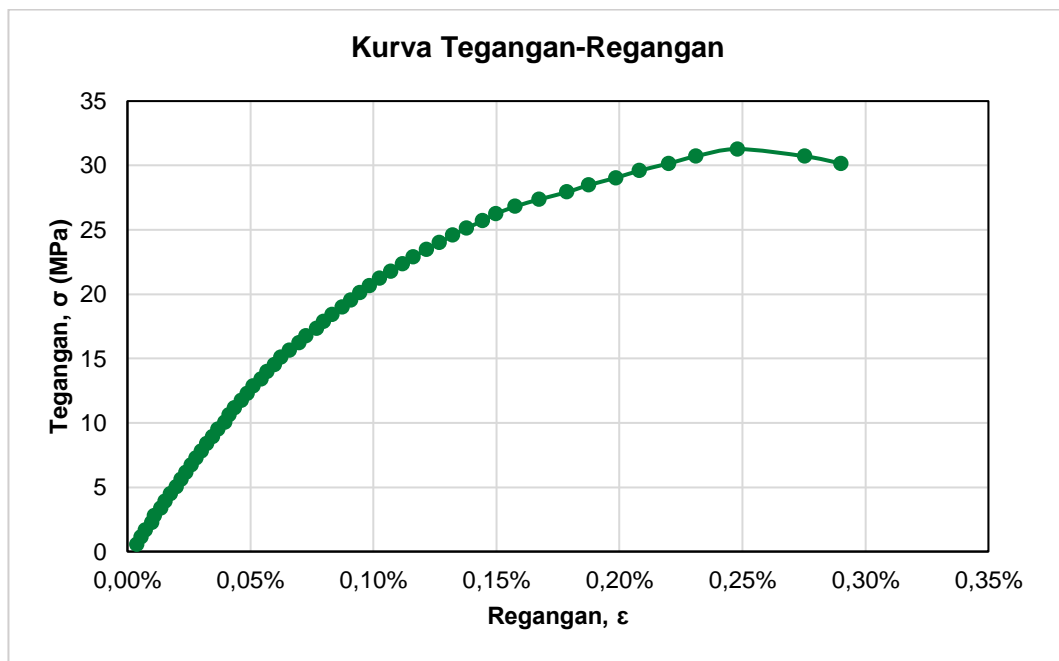
Output		
ASTM C-469	25565,9378	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26282,7003	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	27423,64838	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,12
30	30000	20	0,01	0,00005	1,68
40	40000	30	0,015	0,000075	2,23
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,79
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,35
70	70000	52	0,026	0,00013	3,91
80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,47
90	90000	70	0,035	0,000175	5,03
100	100000	78	0,039	0,000195	5,58
110	110000	86	0,043	0,000215	6,14
120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,70
130	130000	102	0,051	0,000255	7,26
140	140000	111	0,0555	0,0002775	7,82
150	150000	120	0,06	0,0003	8,38
160	160000	129	0,0645	0,0003225	8,93
170	170000	138	0,069	0,000345	9,49
180	180000	149	0,0745	0,0003725	10,05
190	190000	156	0,078	0,00039	10,61

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	165	0,0825	0,0004125	11,17
210	210000	176	0,088	0,00044	11,73
220	220000	186	0,093	0,000465	12,29
230	230000	195	0,0975	0,0004875	12,84
240	240000	208	0,104	0,00052	13,40
250	250000	218	0,109	0,000545	13,96
260	260000	230	0,115	0,000575	14,52
270	270000	240	0,12	0,0006	15,08
280	280000	254	0,127	0,000635	15,64
290	290000	270	0,135	0,000675	16,19
300	300000	281	0,1405	0,0007025	16,75
310	310000	298	0,149	0,000745	17,31
320	320000	310	0,155	0,000775	17,87
330	330000	324	0,162	0,00081	18,43
340	340000	340	0,17	0,00085	18,99
350	350000	354	0,177	0,000885	19,54
360	360000	369	0,1845	0,0009225	20,10
370	370000	384	0,192	0,00096	20,66
380	380000	401	0,2005	0,0010025	21,22
390	390000	419	0,2095	0,0010475	21,78
400	400000	438	0,219	0,001095	22,34
410	410000	455	0,2275	0,0011375	22,89
420	420000	477	0,2385	0,0011925	23,45
430	430000	498	0,249	0,001245	24,01
440	440000	520	0,26	0,0013	24,57
450	450000	542	0,271	0,001355	25,13
460	460000	568	0,284	0,00142	25,69
470	470000	590	0,295	0,001475	26,25
480	480000	621	0,3105	0,0015525	26,80
490	490000	660	0,33	0,00165	27,36
500	500000	705	0,3525	0,0017625	27,92
510	510000	741	0,3705	0,0018525	28,48
520	520000	785	0,3925	0,0019625	29,04

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	823	0,4115	0,0020575	29,60
540	540000	871	0,4355	0,0021775	30,15
550	550000	915	0,4575	0,0022875	30,71
560	560000	983	0,4915	0,0024575	31,27
550	550000	1092	0,546	0,00273	30,71
540	540000	1151	0,5755	0,0028775	30,15

Gambar L-5. 25 Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 4



Tabel L-5. 27 Hasil Uji Modulus Elastisitas M(20%) Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	30	Mpa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,82	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	300	mm
Luas	1767146	mm
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	580	kN

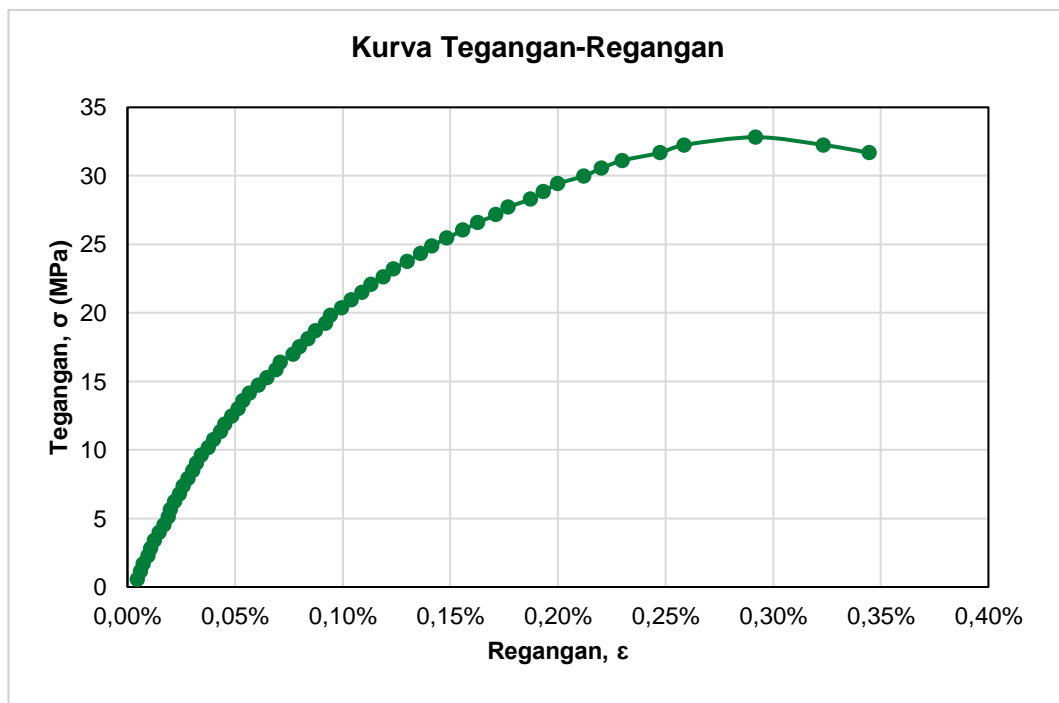
Output		
ASTM C-469	25722,0110	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26926,2364	MPa
SNI 2847-2019 (Wc ^{1,5} x 0,043 x f'c)	28361,7101	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL'	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	11	0,0055	0,0000275	0,57
20	20000	17	0,0085	0,0000425	1,13
30	30000	22	0,011	0,000055	1,70
40	40000	30	0,015	0,000075	2,26
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,83
60	60000	42	0,021	0,000105	3,40
70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,96
80	80000	60	0,03	0,00015	4,53
90	90000	68	0,034	0,00017	5,09
100	100000	72	0,036	0,00018	5,66
110	110000	80	0,04	0,0002	6,22
120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,79
130	130000	96	0,048	0,00024	7,36
140	140000	105	0,0525	0,0002625	7,92
150	150000	114	0,057	0,000285	8,49
160	160000	121	0,0605	0,0003025	9,05
170	170000	130	0,065	0,000325	9,62
180	180000	142	0,071	0,000355	10,19
190	190000	152	0,076	0,00038	10,75

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
200	200000	165	0,0825	0,0004125	11,32
210	210000	173	0,0865	0,0004325	11,88
220	220000	186	0,093	0,000465	12,45
230	230000	198	0,099	0,000495	13,02
240	240000	207	0,1035	0,0005175	13,58
250	250000	219	0,1095	0,0005475	14,15
260	260000	236	0,118	0,00059	14,71
270	270000	251	0,1255	0,0006275	15,28
280	280000	268	0,134	0,00067	15,84
290	290000	276	0,138	0,00069	16,41
300	300000	300	0,15	0,00075	16,98
310	310000	312	0,156	0,00078	17,54
320	320000	328	0,164	0,00082	18,11
330	330000	342	0,171	0,000855	18,67
340	340000	361	0,1805	0,0009025	19,24
350	350000	369	0,1845	0,0009225	19,81
360	360000	390	0,195	0,000975	20,37
370	370000	408	0,204	0,00102	20,94
380	380000	428	0,214	0,00107	21,50
390	390000	445	0,2225	0,0011125	22,07
400	400000	468	0,234	0,00117	22,64
410	410000	486	0,243	0,001215	23,20
420	420000	512	0,256	0,00128	23,77
430	430000	537	0,2685	0,0013425	24,33
440	440000	558	0,279	0,001395	24,90
450	450000	586	0,293	0,001465	25,46
460	460000	615	0,3075	0,0015375	26,03
470	470000	643	0,3215	0,0016075	26,60
480	480000	677	0,3385	0,0016925	27,16
490	490000	700	0,35	0,00175	27,73
500	500000	741	0,3705	0,0018525	28,29
510	510000	765	0,3825	0,0019125	28,86
520	520000	792	0,396	0,00198	29,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
530	530000	840	0,42	0,0021	29,99
540	540000	873	0,4365	0,0021825	30,56
550	550000	912	0,456	0,00228	31,12
560	560000	982	0,491	0,002455	31,69
570	570000	1027	0,5135	0,0025675	32,26
580	580000	1160	0,58	0,0029	32,82
570	570000	1285	0,6425	0,0032125	32,26
560	560000	1371	0,6855	0,0034275	31,69

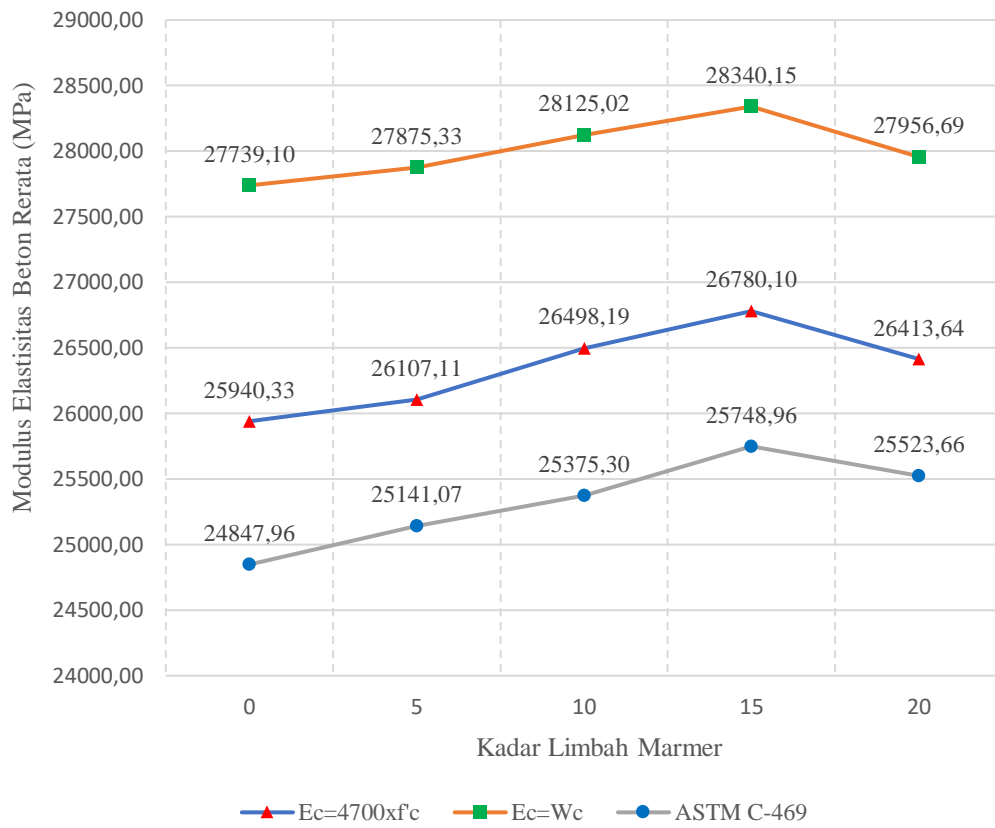
Gambar L-5. 26 Kurva Tegangan-Regangan M(20%) Sampel 5



Tabel L-5. 28 Hasil Rekapitulasi Uji Modulus Elastisitas

Kadar	Kode	Diameter	Tinggi	Luas	Berat	Wc	Beban maks	Kuat tekan	Kuat rerata	ASTMC -469	Rerata	EC = 4700	Rerata	EC = Wc	Rerata
0	1	151	300	17907,8635	12885	2399,6042	530	29,60	30,480545	24515,7324	24847,96287	25569,00951	25940,331	27497,54539	27739,10126
	2	151	300	17907,8635	12756	2375,5802	545	30,43		25112,1046		25928,31063		27466,25043	
	3	151	301	17907,8635	12676	2352,8389	578	32,28		25674,20253		26701,76007		27880,38472	
	4	150	298	17671,4587	12590	2391,9786	498	28,18		23215,76378		24950,33204		26704,40242	
	5	150	301	17671,4587	12933	2432,6555	564	31,92		25722,011		26552,24277		29146,92333	
5	1	150	301	17671,4587	12738	2395,9766	540	30,56	30,88690068	24575,54423	25141,06527	25981,16004	26107,11325	27877,44688	27875,32544
	2	151	300	17907,8635	12655	2356,7708	493	27,53		23670,97483		24660,36098		25813,4494	
	3	150	302	17671,4587	12598	2361,7966	542	30,67		25464,79089		26029,22883		27333,52408	
	4	150	302	17671,4587	12542	2351,2980	572	32,37		25868,99392		26739,89346		27892,77915	
	5	148	300	17203,3614	12740	2469,7619	573	33,31		26125,02246		27124,92293		30459,4277	
10	1	151	300	17907,8635	12830	2389,3614	578	32,28	31,80467591	25527,4928	25375,30179	26701,76007	26498,18861	28532,06878	28125,02284
	2	150	302	17671,4587	12790	2397,7916	610	34,52		26212,543		27613,82548		29662,9482	
	3	150	300	17671,4587	12558	2369,9929	534	30,22		24693,13056		25836,41708		27272,40628	
	4	151	300	17907,8635	12642	2354,3498	545	30,43		24818,39578		25928,31063		27098,87668	
	5	150	298	17671,4587	12528	2380,1992	558	31,58		25624,94681		26410,6298		28058,81425	
15	1	150	301	17671,4587	12522	2355,3477	607	34,35	32,50698107	26855,52335	25748,95588	27545,83893	26780,10329	28807,73709	28340,1545
	2	150	300	17671,4587	12625	2382,6374	594	33,61		26262,03113		27249,27054		28994,28571	
	3	150	300	17671,4587	12648	2386,9781	532	30,11		24252,1818		25787,98888		27514,44221	
	4	149	301	17436,6246	12526	2387,8317	611	35,04		26830,66633		27821,93002		29700,47732	
	5	150	302	17671,4587	12570	2356,5473	520	29,43		24544,37677		25495,48806		26683,83014	
20	1	150	300	17671,4587	12597	2377,3531	560	31,69	31,60417209	25298,35435	25523,66163	26457,91834	26413,64023	28058,65305	27956,68893
	2	149	301	17436,6246	12672	2415,6637	583	33,44		26830,66633		27176,96319		29520,6718	
	3	150	299	17671,4587	12451	2357,6583	509	28,80		24201,33866		25224,38285		26418,76136	
	4	151	300	17907,8635	12628	2351,7425	560	31,27		25565,93782		26282,70034		27423,64838	
	5	150	300	17671,4587	12540	2366,5959	580	32,82		25722,011		26926,23644		28361,71006	

Gambar L-5. 27 Kurva Perbandingan Masing-Masing Persamaan



Tabel L-5. 29 Hasil Rekapitulasi Uji Absorpsi

Kadar Limbah	Umur Uji	Kode Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan	Absorpsi	Absorpsi rerata
0	28 hari	1	7,82	8,00	2,249	1,60090838
		2	7,65	7,75	1,373	
		3	7,80	7,89	1,180	
5		1	7,42	7,55	1,766	1,66592287
		2	8,11	8,24	1,603	
		3	7,98	8,11	1,629	
10		1	8,21	8,35	1,705	1,74834337
		2	7,68	7,81	1,653	
		3	7,95	8,10	1,887	
15		1	7,46	7,58	1,621	1,7914409
		2	8,15	8,30	1,840	
		3	8,00	8,15	1,913	
20		1	8,08	8,20	1,485	2,06754472
		2	7,97	8,15	2,258	
		3	7,81	8,00	2,459	

Gambar L-5. 28 Grafik Uji Absorpsi

