

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH GYPSUM DAN KARBIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON (*THE EFFECT OF USING GYPSUM AND CARBITE WASTE AS A PARTICULAR REPLACEMENT OF CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, TENSILE STRENGTH AND ELASTICITY MODULUS OF CONCRETE*)

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



**Zulfa Izzaturrofiq
19511168**

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

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH GYPSUM DAN
KARBIT SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN
MODULUS ELASTISITAS BETON
(THE EFFECT OF USING GYPSUM AND CARBITE
WASTE AS A PARTICULAR REPLACEMENT OF
CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH,
TENSILE STRENGTH AND ELASTICITY MODULUS
OF CONCRETE)**

Disusun Oleh

**Zulfa Izzaturrofiq
19511168**

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

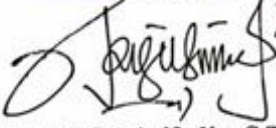
Diuji pada Tanggal 19 November 2024

Oleh Dewan Penguji

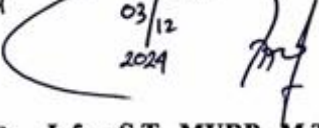
Pembimbing


3-12-24
striana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji I


3/12/2024
Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304

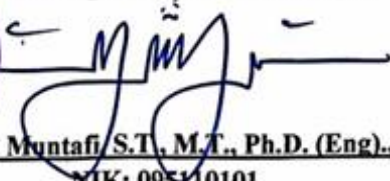
Penguji II


03/12/2024
Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111305

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil




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

SURAT PERNYATAAN BEBAS DARI PLAGIARISME

Dalam hal ini saya membuat pernyataan bahwa Laporan Tugas Akhir yang dibuat untuk memenuhi salah satu prasyarat kelulusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta adalah benar-benar hasil buatan sendiri. Apabila saya mengutip hasil karya orang lain dalam Laporan Tugas Akhir ini, saya akan mencantumkan sumber aslinya dengan cara yang sudah ditetapkan seperti dengan standar tata cara dan sebagaimana etika penulisan karya ilmiah. Sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, saya siap menerima ganjaran (sanksi), seperti dicabutnya gelar akademik saya, apabila di suatu hari ternyata beberapa bagian ataupun seluruh Laporan Skripsi ini bukan merupakan buatan saya sendiri ataupun mengandung unsur plagiarisme.

Yogyakarta, 19 November 2024

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow rectangular revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem on the left and the text 'METERA TEMPEL' and '48AMX0311168' on the right.

Zulfa Izzaturrofiq

(19511168)

KATA PENGANTAR

Assalaimualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan rasa syukur kepada Allah SWT yang memberikan karunia, taufik dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas akhir hingga selesai yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah *Gypsum* dan Karbit Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton” dengan kemampuan semaksimal dan sebaik-baiknya penulis.

Salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta terpenuhi dengan menyerahkan Tugas Akhir ini. Penulis ucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil.
2. Astriana Hardawati S.T., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing yang selalu memberi semangat dan petunjuk kepada saya selama menyusun hingga penyelesaian Tugas Akhir.
3. Bapak Sudirman dan Ibu Asih Setyarini sebagai orang tua saya dan Iffa Izzati Azizah sebagai adik kandung saya yang selalu memberikan semangat, doa, dan pengorbanan hingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Darussalam, Bapak Suwarno, dan Mas Win sebagai Petugas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah menemani saya dalam proses mengumpulkan data beton.
5. Ilham Khoiri yang memberi bantuan dan menemani saya dalam proses pembuatan beton.
6. Teman-teman dari Kost Suroto yang telah membantu saya selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
7. Teman-teman dari Teknik Sipil 2019 yang ikut menemani selama proses dari pembuatan sampai penyelesaian Tugas Akhir.

8. Teruntuk kamu yang ada disana, yang senantiasa selalu menjadi motivasi saya yang baik selama proses penyusunan hingga selesainya Tugas Akhir.
9. Seluruh pihak yang tidak disebutkan yang turut telah menemani terlaksananya proses pembuatan hingga dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis mengakui bahwa masih banyak kekurangan yang harus diselesaikan pada Tugas Akhir ini. Penulis meminta maaf atas hal itu dan berharap agar para pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya dapat memperoleh manfaat dari Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 19 November 2024

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS DARI PLAGIARISME	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Beton	15
3.2 Material Penyusun Beton	15
3.2.1 Semen <i>Portland</i>	15
3.2.2 Air	17
3.2.3 Agregat	17
3.3 Bahan Tambah	21
3.3.1 Limbah <i>Gypsum</i>	25
3.3.2 Limbah Karbit	26

3.4 Perancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	27
3.5 Pengujian Beton	37
3.5.1 Kuat Tekan Beton	37
3.5.2 Kuat Tarik Belah Beton	38
3.5.3 Modulus Elastisitas Beton	39
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	42
4.1 Tinjauan Umum	42
4.2 Variabel Penelitian	42
4.3 Bahan Penelitian	43
4.4 Alat Penelitian	46
4.5 Lokasi Penelitian	54
4.6 Benda Uji	54
4.7 Tahapan Penelitian	55
4.7.1 Persiapan Penelitian	55
4.7.2 Pengujian Agregat	55
4.7.3 Pemeriksaan Air	59
4.7.4 Pemeriksaan Semen	60
4.7.5 Perancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	60
4.7.6 Pembuatan Benda Uji	60
4.7.7 Perawatan Benda Uji	63
4.7.8 Pengujian Benda Uji	63
4.7.9 Analisis Pengolahan Data dan Pembahasan	65
4.7.10 Kesimpulan dan Saran	65
4.8 Langkah-langkah Bagan Alur Penelitian	65
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	67
5.1 Pengujian <i>Properties</i> Agregat	67
5.1.1 Pengujian <i>Properties</i> Agregat Halus	67
5.1.2 Pengujian <i>Properties</i> Agregat Kasar	77
5.2 Perancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	87
5.3 Proporsi Campuran Beton	93
5.4 Pengujian <i>Slump</i>	99

5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	100
5.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	105
5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	110
5.8 Hasil Semua Pengujian	122
5.9 Harga dan Biaya Keseluruhan Campuran	123
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	129
6.1 Kesimpulan	129
6.2 Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Rencana Penelitian yang akan Dijalankan	12
Tabel 3.1 Komposisi Bahan Utama Semen	18
Tabel 3.2 Batasan Gradasi Agregat Halus	18
Tabel 3.3 Batasan Gradasi Agregat Kasar	20
Tabel 3.4 Kandungan Limbah <i>Gypsum</i>	26
Tabel 3.5 Kandungan Limbah Karbit	27
Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar Pengendalian Mutu Pekerjaan	28
Tabel 3.7 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar	28
Tabel 3.8 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas dan Agregat	29
Tabel 3.9 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Lingkungan	30
Tabel 3.10 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	32
Tabel 4.1 Detail Sampel Benda Uji dengan Berbagai Variasi	54
Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	68
Tabel 5.2 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	71
Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	71
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus	73
Tabel 5.5 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	75
Tabel 5.6 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	76
Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian Lolos Saringan No. 200	77
Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	78
Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	81
Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	82
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar	83
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	86
Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	86

Tabel 5.14 Rekapitulasi Perancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	94
Tabel 5.15 Proporsi Campuran Beton dengan Limbah <i>Gypsum</i> dan karbit Sebagai Substitusi Semen	99
Tabel 5.16 Pengujian Nilai <i>Slump</i>	100
Tabel 5.17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	102
Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	106
Tabel 5.19 Rasio Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton	108
Tabel 5.20 Tegangan Regangan Beton Normal	111
Tabel 5.21 Tegangan Regangan Terkoreksi Beton Normal	114
Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas	118
Tabel 5.23 Selisih Modulus Elastisitas Pengujian dan Teoritis	120
Tabel 5.24 Hasil Semua Pengujian	122
Tabel 5.25 Harga Satu Campuran Beton Normal Per Silinder	125
Tabel 5.26 Harga Satu Campuran Beton Normal Per m ³	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas (Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)	30
Gambar 3.2	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Maksimum Butir 10 mm	33
Gambar 3.3	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum Butir 20 mm	34
Gambar 3.4	Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum Butir 40 mm	34
Gambar 3.5	Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Dipadatkan	36
Gambar 3.6	Ilustrasi Uji Kuat Tekan Bentuk Silinder	38
Gambar 3.7	Ilustrasi Uji Kuat Tarik Belah Bentuk Silinder	39
Gambar 3.8	Ilustrasi Uji Modulus Elastisitas Bentuk Silinder	40
Gambar 3.9	Grafik Hubungan Tegangan Regangan Modulus Elastisitas	41
Gambar 4.1	Semen <i>Portland</i> Merek Tiga Roda	43
Gambar 4.2	Pasir Merapi	43
Gambar 4.3	Kerikil Clereng	44
Gambar 4.4	Air Suling	44
Gambar 4.5	Limbah <i>Gypsum</i>	45
Gambar 4.6	Limbah Karbit	45
Gambar 4.7	Saringan Agregat	46
Gambar 4.8	Piknometer	46
Gambar 4.9	Neraca <i>Ohaus</i>	47
Gambar 4.10	Timbangan	47
Gambar 4.11	Ember	48
Gambar 4.12	Mesin Aduk (<i>Mixer</i>)	48
Gambar 4.13	Cetakan	49
Gambar 4.14	Kerucut <i>Abrams</i>	49
Gambar 4.15	Sekop	50

Gambar 4.16 Oven (Pengering)	50
Gambar 4.17 Tongkat Tumbukan	51
Gambar 4.18 Kaliper	51
Gambar 4.19 Gerobak Pendorong	52
Gambar 4.20 Gelas Ukur	52
Gambar 4.21 Mesin Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton	53
Gambar 4.22 Mesin Uji Kuat Tarik Belah Beton	53
Gambar 4.23 Bagan Alur Tahapan Penelitian	66
Gambar 5.1 Grafik Daerah Gradasi II Agregat Halus Sampel 1	73
Gambar 5.2 Grafik Daerah Gradasi II Agregat Halus Sampel 2	74
Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	84
Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	84
Gambar 5.5 Hubungan Kuat Tekan dan Fas (Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)	88
Gambar 5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	90
Gambar 5.7 Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	92
Gambar 5.8 Pengujian <i>Slump</i>	100
Gambar 5.9 <i>Capping</i> Beton	101
Gambar 5.10 Grafik Kuat Tekan Rerata dengan Berbagai Variasi	103
Gambar 5.11 Pengujian Kuat Tekan dan Sampel Benda Uji Setelah Pengujian	104
Gambar 5.12 Grafik Kuat Tarik Belah Rerata dengan Berbagai Variasi	107
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Kuat Tekan Beton	109
Gambar 5.14 Pengujian Kuat Tarik Belah dan Sampel Benda Uji Setelah Pengujian	110
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton Normal	116
Gambar 5.16 Grafik Modulus Elastisitas Beton Rata-Rata	119
Gambar 5.17 Benda Uji Dipasang Alat Ekstensometer	121
Gambar 5.18 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	122
Gambar 5.19 Grafik Harga Campuran Beton Per Silinder	127

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Surat Bebas Tanggungan Laboratorium	135
Lampiran 2	Rekap Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	136
Lampiran 3	Rekap Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	153
Lampiran 4	Rekap Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	154
Lampiran 5	Rekap Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	155
Lampiran 6	Rekap Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	156
Lampiran 7	Jadwal Tugas Akhir	216
Lampiran 8	Proses Gambaran Pembuatan dan Pengujian Benda Uji	217

ABSTRAK

Beton merupakan bahan utama dalam konstruksi yang terdiri dari agregat, air dan semen. Dalam era globalisasi saat ini, peningkatan mutu beton dan nilai ekonomisnya perlu diperhatikan. Dikarenakan banyaknya permintaan penggunaan beton yang terus meningkat, hal ini mengakibatkan perkembangan teknologi beton dalam uji coba penambahan campuran terus dilakukan untuk mendapatkan kekuatan mutu beton yang diinginkan dan juga memiliki nilai ekonomis. Ada banyak cara untuk mendapatkan kekuatan mutu beton yang diinginkan, salah satunya adalah dengan menambahkan bahan tambah atau mengganti bahan komponen utama seperti semen dengan limbah. Pada penelitian ini digunakan bahan yang berasal limbah industri yaitu limbah *gypsum* dan limbah karbit yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen pada campuran beton.

Pada penelitian ini limbah tersebut digunakan sebagai bahan substitusi semen dengan limbah *gypsum* sebesar 4% dan karbit sebesar 12%, 14%, dan 16% dari total berat semen. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu antara lain kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton yang akan diuji pada umur 28 hari dengan perawatan berupa perendaman pada beton dengan jumlah benda uji sebanyak 40 silinder. Sumber yang digunakan dalam perancangan campuran berdasarkan SNI-03-2834-2000. Kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan limbah *gypsum* dan karbit ternyata dapat menurunkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton akan tetapi mempunyai nilai ekonomis yang lebih menguntungkan. Hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton substitusi semen dengan limbah *gypsum* variasi 4% dan karbit variasi 12%, 14%, dan 16% di umur 28 hari mengalami penurunan masing-masing yaitu sebesar 1,555%, 6,121%, dan 16,572% untuk kuat tekan, 6,820%, 6,260%, dan 12,983% untuk kuat tarik belah, 0,978%, 3,164%, dan 8,665% untuk modulus elastisitas dari kuat tekan yang direncanakan, akan tetapi dari segi harga lebih ekonomis sebesar 8,92%, 10,03%, dan 11,15% dari harga beton normal. Pada beton variasi limbah *gypsum* 4% dan 12% di semua pengujian memperoleh hasil yang paling optimal dan juga dapat dijadikan sebagai salah satu variasi yang dapat digunakan dalam perancangan campuran beton dikarenakan semua syarat memenuhi dari segi kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan harga serta biaya produksi dibandingkan dengan variasi limbah *gypsum* dan karbit yang lain.

Kata kunci: *Gypsum*, Karbit, Tekan, Tarik Belah, Modulus Elastisitas, Harga

ABSTRACT

Concrete is the main material in construction consisting of aggregate, water and cement. In the current era of globalization, improving the quality of concrete and its economic value needs to be considered. Due to the increasing demand for concrete use, this has resulted in the development of concrete technology in the trial of adding mixtures to continue to be carried out to obtain the desired concrete quality strength and also have economic value. There are many ways to obtain the desired concrete quality strength, one of which is by adding additives or replacing the main component materials such as cement with waste. In this study, materials from industrial waste were used, namely gypsum waste and carbide waste which were used as a partial replacement for cement in the concrete mixture.

In this study, the waste was used as a cement substitute with gypsum waste of 4% and carbide of 12%, 14%, and 16% of the total weight of cement. The tests carried out included compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of concrete which would be tested at the age of 28 days with treatment in the form of immersion in concrete with a total of 40 cylinders of test objects. The sources used in the mixture design are based on SNI-03-2834-2000. The planned compressive strength is 25 MPa.

The test results showed that partial replacement of cement with gypsum and carbide waste can reduce the compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of concrete but has a more profitable economic value. The test results of compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of cement substituted concrete with gypsum waste variation of 4% and carbide variation of 12%, 14%, and 16% at the age of 28 days experienced a decrease of 1.555%, 6.121%, and 16.572% for compressive strength, 6.820%, 6.260%, and 12.983% for splitting tensile strength, 0.987%, 3.164%, and 8.665% for modulus of elasticity from the planned compressive strength, but in terms of price it is more economical by 6.27%, 7.05%, and 7.84% from the price of normal concrete. In concrete, the variation of gypsum waste of 4% and 12% in all tests obtained the most optimal results and can also be used as one of the variations that can be used in designing concrete mixtures because all requirements are met in terms of compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, and price and production costs compared to other variations of gypsum and carbide waste.

Keywords: Gypsum, Carbide, Compression, Split Tensile, Modulus of Elasticity, Price

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton diartikan sebagai gabungan antara agregat halus, agregat kasar, air, dan semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, tanpa unsur adanya bahan tambah yang membentuk massa padat setelah 28 hari sesuai SNI-03-2847-2013. Menurut data Asosiasi Semen Indonesia (2016), kebutuhan semen dalam negeri masih terus meningkat hingga mencapai 20 juta ton antara tahun 2012 hingga 2016. Karena metode produksi semen di Indonesia yang boros energi dan menghasilkan emisi CO₂ yang meningkatkan suhu global, berbagai penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi sumber bahan alternatif, seperti limbah industri ataupun limbah yang lain yang sebagian dapat menggantikan semen (Djwantoro Hardjito, 2007).

Di sebagian besar negara berkembang, penggunaan limbah sebagai bahan bangunan alternatif sudah menjadi solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Sebagai bahan konstruksi utama, teknologi beton terus berkembang untuk mencapai bangunan berkualitas tinggi dan memiliki mutu kualitas yang baik. Selain sebagai bahan konstruksi utama, beton juga digunakan untuk membangun beberapa bangunan lain, seperti jalan raya dan jembatan. Oleh karena itu, kebutuhan beton yang selalu meningkat sehingga kriteria mutu campuran beton bersumber dari SNI-03-2834-2000 harus sesuai dalam perencanaan tersebut. Dalam hal ini, diperlukan suatu perencanaan pada campuran beton agar mutu dan kualitas beton bernilai ekonomis dan juga sesuai kriteria perencanaan campuran yang sudah ditetapkan.

Perkembangan teknologi beton terkini bertujuan untuk meningkatkan kualitas beton. Tujuan dari teknologi beton dan strategi penerapan diperoleh dari studi dan eksperimen, yang nantinya akan digunakan untuk memenuhi permintaan penggunaan beton yang terus meningkat sekaligus menyelesaikan masalah di proyek. Adanya tuntutan tersebut menyebabkan beton harus dapat menunjukkan kekuatan dan daya tahan optimalnya serta memiliki nilai ekonomis sehingga

diperlukan adanya suatu inovasi pada campuran beton sehingga beton dapat tetap memiliki mutu kualitas yang baik dan biaya yang terjangkau. Oleh karena itu, dibutuhkannya sebuah ide yakni bahan tambahan atau pengganti limbah yang dapat membantu meningkatkan kualitas beton, serta bahan limbah yang harganya terjangkau dan memiliki dampak buruk yang lebih kecil terhadap lingkungan.

Salah satu dari beberapa bahan komponen penting di pembuatan beton salah satunya ialah semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggantikan sebagian semen agar dapat digunakan untuk pekerjaan tertentu atau lebih ekonomis, serta untuk menghemat energi. Akibatnya, permintaan akan sumber daya alam yang dibutuhkan untuk memproduksi material berupa semen terus meningkat. Pemanfaatan bahan substitusi yang sudah tidak terpakai berupa limbah merupakan salah satu cara untuk melestarikan sumber daya alam mengingat kebutuhan akan bahan tersebut semakin meningkat. Bahan tambah pengganti ini berasal dari limbah konstruksi dan industri yang dibuang begitu saja seperti limbah *gypsum* dan karbit merupakan salah satu limbah industri yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen.

Berdasarkan uraian sebelumnya, terlihat bahwa campuran beton dalam hal ini menggunakan sisa limbah *gypsum* dari sisa usaha yang dimanfaatkan untuk pembuatan profil *gypsum* dan penghias bangunan. Hal ini mengarah pada penemuan bahwa *gypsum* adalah sejenis mineral tertentu yang banyak mengandung kalsium. Konsentrasi kalsium yang tinggi mendominasi dalam *gypsum*, dengan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi bentuk yang paling umum. Pada penelitian ini mencoba menjawab pertanyaan dengan merencanakan kualitas beton yang ditambahkan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen, serta membantu efisiensi penggunaan limbah dan memperkecil dampak negatif terhadap lingkungan.

Sedangkan limbah karbit, limbah karbit tergolong limbah B3, hal ini menunjukkan bahwa limbah B3 (senyawa bahan, berbahaya, dan beracun) mempunyai potensi membahayakan lingkungan hidup dan mengganggu kesehatan masyarakat, sesuai PP RI No. 101 Tahun 2014 tentang pengolahan limbah B3 karbit. Karena kalsium yang berasal dari batu kapur diketahui sebagai bahan utama

pembentuk semen sehingga limbah karbit hasil pengelasan memiliki bahan mirip pembentuk semen. Komposisi kimianya terdiri dari 60% kalsium (CaO), $\text{SiO}_2 = 1,48\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,09\%$, dan $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,07\%$. Pada penelitian ini mencoba menjawab pertanyaan dengan merencanakan kualitas beton yang ditambahkan limbah karbit sebagai pengganti sebagian semen, serta membantu efisiensi dari limbah dan memperkecil dampak negatif terhadap lingkungan.

Raihan Ludi Pratama dkk (2022) melakukan penelitian mengenai pengaruh campuran serta limbah karet dan *gypsum* sebagai substitusi semen terhadap kuat lentur beton menggunakan kuat tekan rencana yaitu 20 MPa. Dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa beton bahan serat karet ban dan limbah *gypsum* sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4% secara keseluruhan mengalami peningkatan kuat lentur apabila dibandingkan dengan beton normal. Peningkatan kuat lentur tertinggi terjadi pada penambahan serat karet ban 3 % dan limbah *gypsum* 4%, yaitu mencapai $51,11 \text{ kg/cm}^3$, atau mengalami peningkatan sebesar 30,68 % apabila dibandingkan dengan beton normal.

Triyana Vivian dkk (2023) melakukan penelitian mengenai pengaruh limbah karbit dan *gypsum* sebagai substitusi sebagian semen terhadap campuran beton menggunakan kuat tekan rencana yaitu 30 MPa. Dari hasil penelitian, beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen ketika berumur 28 hari mengalami kenaikan linear pada grafik secara terus-menerus pada variasi limbah *gypsum* 5% dan karbit sebesar 0%, 8%, dan 12% pada tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa limbah *gypsum* dan karbit dapat mempengaruhi peningkatan pada kualitas mutu beton itu sendiri.

Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, peneliti ingin membuktikan dengan melakukan penambahan pada limbah karbit sebesar 12%, 14%, dan 16% sedangkan pada limbah *gypsum* sebesar 4% dengan kuat rencana beton yakni 25 MPa dan pengujian pada umur 28 hari, apakah dapat meningkatkan kuat tarik belah, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton. Dengan demikian, peneliti bermaksud apakah dengan penambahan persentase pada limbah karbit dan *gypsum* akan tetap menaikkan kualitas beton atau malah sebaliknya. Diharapkan

dengan ini, peneliti bisa memanfaatkan limbah yang tidak lagi digunakan akan menggantikan sebagian semen dan bisa menaikkan kualitas mutu beton serta menambahkan nilai ekonomis pada pembuatan campuran beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berlandaskan konteks pada latar belakang sebelumnya, pertanyaan berikut mampu digunakan untuk merumuskan masalah untuk penelitian, disajikan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen dengan berbagai variasi yang ditentukan pada penelitian di dalam campuran beton mampu membuat peningkatan pada kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari?
2. Pada variasi persentase berapakah limbah *gypsum* dan karbit mendapatkan nilai optimal pada tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari?
3. Bagaimana pengaruh biaya produksi pada campuran beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen?

1.3 Tujuan Penelitian

Didasarkan uraian rumusan masalah sebelumnya, berikut ialah beberapa tujuan dari penelitian ini:

1. Mengetahui pengaruh pengganti sebagian semen dengan limbah *gypsum* dan karbit dalam campuran beton terhadap peningkatan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari.
2. Mendapatkan variasi persentase yang optimal pada limbah *gypsum* dan karbit pada nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas yang akan didapat nantinya di umur 28 hari.
3. Mengetahui pengaruh biaya pada campuran beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton normal.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah manfaat yang bisa diperoleh dari hasil penelitian ini:

1. Mengetahui pengaruh pengganti sebagian semen dengan limbah *gypsum* dan karbit terhadap kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas pada beton.
2. Mengetahui variasi persentasi terbaik dari campuran beton dengan penambahan limbah *gypsum* dan limbah karbit sebagai pengganti sebagian semen.
3. Sebagai alternatif untuk pengganti kemajuan teknologi bahan dalam campuran beton.
4. Mendapatkan kelebihan dan kelemahan beton dengan adanya penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen.
5. Dapat dijadikan sumber daya alternatif yang dapat dimanfaatkan penyedia jasa konstruksi dan masyarakat luas.
6. Mengubah limbah industri menjadi bahan alternatif atau pengganti berharga yang meningkatkan nilai ekonomi sekaligus mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

Keterbatasan permasalahan pada penelitian dibuat agar bisa berfokus, lebih detail dan rinci, sebagaimana dijabarkan sebagai berikut ini:

1. Kuat tekan rencana (f'_c) yakni 25 MPa.
2. Metode perancangan campuran berdasarkan SNI-03-2834-2000.
3. Agregat halus berupa pasir berasal dari Merapi, Kaliurang.
4. Agregat kasar berupa batu pecah berasal dari Kali Clereng, Kulon Progo.
5. Agregat kasar maksimum berukuran 20 mm.
6. Semen yang dipakai ialah semen *portland* tipe I, merek Tiga Roda.
7. Limbah *gypsum* berasal dari pengrajin *gypsum* yang ada di Yogyakarta.
8. Limbah karbit berasal dari bengkel pengelasan yang ada di Yogyakarta.
9. Persentase limbah *gypsum* yang digunakan yaitu 4% sebagai substitusi sebagian semen pada campuran beton.

10. Persentase limbah karbit yang dipakai yaitu 12%, 14%, dan 16% sebagai substitusi sebagian semen pada campuran beton.
11. Sampel benda uji yakni cetakan berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm.
12. Pengujian beton yakni kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari.
13. Pengujian yang dilakukan terbatas pada substitusi sebagian semen yang digunakan pada campuran beton.
14. Penelitian direncanakan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
15. Beberapa poin pengujian yang akan dilakukan ialah sebagai berikut.
 - a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
 - b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
 - c. Pengujian analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
 - d. Pengujian analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990
 - e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume pada agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
 - f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume pada agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
 - g. Pengujian *slump* beton berdasarkan SNI 1972-2008.
 - h. Pengujian butiran lolos ayakan No. 200 berdasarkan SNI 4142-1996.
 - i. Pengujian kuat tarik belah beton berdasarkan SNI 2491-2014.
 - j. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011.
 - k. Pengujian modulus elastisitas beton berdasarkan SNI 2826-2008.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton terbuat dari material berupa air, agregat halus dan kasar, semen, ataupun jenis lainnya, dan bahan tambahan-tambahan (SNI 2847-2019). Karena beton sering kali diharapkan mampu menopang/menahan beban, kekuatan merupakan kualitas mutu yang diperlukan. Jumlah air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan material lainnya mempengaruhi kekuatan beton, derajat tingkat kekompakan dan faktor air semen sangat penting. Perbandingan antara berat semen terhadap air, jenis dan gradasi agregat, mutu semen, dan perawatan merupakan unsur-unsur yang mempengaruhi kekuatan beton (Tjokrodinuljo, 1996). Semen adalah faktor terpenting dalam campuran beton, tidak lupa juga peningkatan kebutuhan semen sangatlah tinggi khususnya di Indonesia. Oleh karenanya, peneliti tertarik untuk menyelidiki bagaimana kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastis beton yang dipengaruhi oleh penggunaan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, penggunaan semen di Indonesia dapat berkurang dan lebih efisien terhadap biaya.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai topik atau isu yang sama telah dilakukan dan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan data pembandingan yang relevan dengan penelitian yang nantinya dijalankan. Berikut merupakan penelitian yang dilakukan sebelumnya yang dapat digunakan sebagai referensi.

1. Pengaruh Limbah Karbit / *Calcium Carbit* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton (Liberty Juniasy Somalinggi dkk, 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan beton, tarik belah, dan modulus elastisitas beton, penelitian tersebut akan memanfaatkan limbah karbit sebagai pengganti semen. Secara khusus, ini akan menghitung jumlah limbah karbit yang optimum untuk ditambahkan. Terdapat empat variasi

limbah karbit yang berbeda dengan variasi 0%, 4%, 6%, dan 8% dengan kuat tekan rencana ditetapkan yakni 25 MPa. Metode penelitian pelaksanaan pekerjaan beton menggunakan SNI-03-2834-2000, Dengan variasi 0%, 4%, 6%, dan 8%, hasil pengujian menunjukkan pengaruh terhadap kekuatan beton dengan memakai material limbah karbit sebagai salah satu material pengganti semen. Nilai kuat tarik belah beton optimum yakni 2,663 MPa, dan nilai kuat tekan optimal diperoleh pada variasi 4% yaitu 37,645 MPa, nilai modulus elastisitas optimal pada variasi 4%, yaitu 17180,87 MPa. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwasannya limbah karbit dapat berdampak pada kekuatan beton dalam pengujian yakni kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitasnya.

2. Pengaruh Campuran Serta Limbah Karet Ban Dan *Gypsum* Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Lentur Beton (Raihan Ludi Pratama dkk, 2022)

Pada penelitian ini digunakan persen limbah *gypsum* sebesar 1%, 2%, 3% dan 4% serta persen limbah karet sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4% dari total semen yang dipakai pada campuran beton, tujuan utamanya untuk meningkatkan kuat lentur beton, mengetahui pengaruh nilai slump, serta mengetahui kadar optimum dengan variasi penambahan serta karet ban dan limbah *gypsum* dengan pengujian setelah 28 hari, ditetapkan nilai kuat tekan rencana ialah 20 MPa. Metodologi penelitian pelaksanaan pekerjaan beton menggunakan SNI 7656-2012, berdasarkan hasil data pengujian menunjukkan bahwa beton bahan serat karet ban dan limbah *gypsum* sebesar 1%, 2%, 3%, dan 4% secara keseluruhan mengalami peningkatan kuat lentur apabila dibandingkan dengan beton normal. Pengaruh penambahan bahan tambah tersebut terhadap nilai *slump* yaitu memenuhi syarat 10 cm dengan toleransi ± 2 cm. Peningkatan kuat lentur tertinggi terjadi pada penambahan serat karet ban 3 % dan limbah *gypsum* 4%, yaitu mencapai 51,11 kg/cm³, atau mengalami peningkatan sebesar 30,68 % apabila dibandingkan dengan beton normal.

3. Analisa Penggunaan Limbah *Gypsum* Sebagai Substitusi Semen Terhadap Performa Beton Normal (I Gede Raditya Lalita dkk, 2023)

Penelitian ini memperkirakan limbah *gypsum* akan lebih menguntungkan dari segi biaya serta kekuatan beton dengan umur uji pada 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini mencoba untuk mengetahui pemanfaatan limbah *gypsum* sebesar 10%, 20%, dan 30% dari berat semen itu sendiri. Metode penelitian pelaksanaan pekerjaan beton memiliki sumber dari acuan SNI-03-2834-2000, Hasil pengujian menunjukkan dengan adanya penggunaan limbah *gypsum* sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton tersebut mampu mempengaruhi kinerja beton segar yang ditunjukkan dengan penurunan nilai *slump* dan air harus ditambahkan selama pencampuran untuk mencegah campuran mengering terlalu cepat. Komposisi limbah *gypsum* sebesar 20% dapat memperoleh kuat tekan yang lebih tinggi disebabkan oleh butiran limbah *gypsum* memenuhi ruang antara agregat kasar dan halus sehingga saling menempel sehingga membentuk campuran yang padat sehingga menghasilkan kuat tekan dan nilai ekonomis yang ideal.

4. Analisis Penggunaan Limbah *Gypsum* Sebagai *Filler* Terhadap Kuat Tekan Beton (Sahat Martua Sihombing dkk, 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kuat tekan beton normal dengan beton yang telah dicampur dengan limbah *gypsum* 10% dan 20% sebagai *filler* dengan masar perawatan selama 28 hari. Variabel bebas dan terikat merupakan variabel penelitian, dan teknik yang digunakan adalah eksperimen. Limbah granit digunakan dalam penelitian ini sebagai variabel bebas untuk mensubstitusi sebagian pasir dalam komposisi beton, sedangkan beton normal $f'c = 18$ MPa dijadikan sebagai variabel terikat penelitian. Dalam perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”, memanfaatkan 0%, 10%, dan 20% dari *mix design* dengan perancangan campuran beton ini bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi dari bahan-bahan untuk penyusunan beton. Pengujian yang dihasilkan untuk diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari, adapun hasil *mix design* yang telah dilakukan

untuk satu benda uji silinder ukuran 15cm x 30cm. Berdasarkan data hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton variasi dengan penambahan limbah *gypsum* lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Semakin tinggi persentase penambahan limbah *gypsum* yang digunakan, kuat tekan beton semakin naik. Hasil menunjukkan bahwa merendam beton dalam air selama proses perawatan meningkatkan kuat tekan dan kekuatan beton dibandingkan dengan membiarkannya di luar atau tanpa perawatan. Ketika kuat tekan dengan perawatan ternyata lebih besar dari kuat tekan desain awal. Sebaliknya, ditemukan bahwa kuat tekan yang dicapai untuk beton yang tidak dirawat lebih rendah dibandingkan dengan beton yang diinginkan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan uji *slump* dengan penambahan air dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Kuat tekan beton semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai *slump* dan sebaliknya.

5. Penggunaan Limbah *Gypsum* dan Limbah Karbit Sebagai Pengganti Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton (Triyana Vivian Wagio dkk, 2023)

Penelitian ini menggunakan limbah *gypsum* yakni 5% dan variasi limbah karbit yakni 8% dan 12% sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan nilai kuat tekan rencana yang ditetapkan yakni sebesar 30 MPa di umur uji 3, 7, 14, dan 28 hari, penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai dan bagaimana dampak kaitannya antara kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Metode penelitian pelaksanaan pekerjaan beton memakai sumber dari SNI-03-2834-2000, berdasarkan data pengujian menunjukkan hasil dari kuat tekan di umur 28 hari pada varian 0%, 8%, dan 12% menghasilkan nilai yaitu 31,038 MPa, 31,507 MPa, dan 32,277 MPa berdasarkan data pengujian. Hasil data dari pengujian kuat tarik belah pada varian 0%, 8%, dan 12% adalah 2,854 MPa, 2,902 MPa, dan 2,996 MPa. Hasil data dari pengujian modulus elastisitas pada varias 8%, 12%, dan 0% adalah 30328.111 MPa, 31570.793 MPa, dan 27903.497 MPa. Nilai maksimum dengan variasi 12% dicapai pada pengujian modulus elastisitas, tarik belah, dan kuat tekan. Diperoleh kaitan antara modulus elastisitas dan

kuat tekan serta kaitan antara kuat tekan dengan kuat tarik belah yang menunjukkan korelasi langsung dengan adanya kenaikan persentase limbah karbit. Hal ini menunjukkan bahwa menambahkan limbah karbit dan limbah *gypsum* ke dalam beton dapat memperkuat beton.

Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, peneliti ingin membuktikan dengan melakukan penambahan pada limbah karbit sebesar 12%, 14%, dan 16% sedangkan pada limbah *gypsum* sebesar 4% dengan kuat rencana beton yakni 25 MPa dan pengujian pada umur 28 hari, apakah dapat meningkatkan kuat tarik belah, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton. Dengan demikian, peneliti bermaksud apakah dengan penambahan persentase pada limbah karbit dan *gypsum* akan tetap menaikkan kualitas beton atau malah sebaliknya. Diharapkan dengan ini, peneliti bisa memanfaatkan limbah yang tidak lagi digunakan akan menggantikan sebagian semen dan bisa menaikkan kualitas mutu beton serta menambahkan nilai ekonomis pada pembuatan campuran beton.

Diambil empat ringkasan penelitian terbaru sebelumnya disediakan pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Rencana Penelitian yang akan Dijalankan

Jenis	Liberty Juniasy Somalinggi dkk (2020)	Raihan Ludi Pratama dkk (2022)	I Gede Raditya Lalita dkk (2023)	Sahat Martua Sihombing dkk (2023)	Triyana Vivian Wagio dkk (2023)	Penulis (2024)
Judul Penelitian	Pengaruh Limbah Karbit / <i>Calcium Carbit</i> Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton	Pengaruh Campuran Serta Limbah Karet Ban Dan <i>Gypsum</i> Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Lentur Beton	Analisa Penggunaan Limbah <i>Gypsum</i> Sebagai Substitusi Semen Terhadap Performa Beton Normal	Analisis Penggunaan Limbah <i>Gypsum</i> Sebagai <i>Filler</i> Terhadap Kuat Tekan Beton	Penggunaan Limbah <i>Gypsum</i> Dan Limbah Karbit Sebagai Pengganti Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton	Pengaruh Penggunaan Limbah <i>Gypsum</i> Dan Limbah Karbit Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas Beton
Tujuan Penelitian	Untuk meningkatkan kuat tekan beton, tarik belah, dan modulus elastisitas beton, penelitian tersebut akan memanfaatkan limbah karbit variasi 0%, 4%, 6%, dan 8% sebagai pengganti semen.	Untuk meningkatkan kuat lentur beton, mengetahui pengaruh nilai slump, serta mengetahui kadar optimum dengan variasi penambahan serta karet ban dan limbah gypsum variasi 1%, 2%, 3%, dan 4%.	Mengetahui nilai ekonomis dari segi biaya dan kuat tekan pada beton yang dicampur limbah <i>gypsum</i> sebagai salah satu substitusi semen pada variasi 10%, 20%, dan 30% dari persentase semen itu sendiri.	Membandingkan kuat tekan beton normal dengan beton yang diisi limbah <i>gypsum</i> sebagai <i>filler</i> sebesar 10% dan 20%.	Untuk mengetahui signifikansi dan dampak kaitan antara modulus elastisitas, tarik belah, dan kuat tekan, digunakan limbah <i>gypsum</i> 5% serta varian limbah karbita 8% dan 12% sebagai pengganti semen.	Untuk mengetahui pengaruh dan hubungan modulus elastisitas, tarik belah, dan kuat tekan yang memanfaatkan limbah <i>gypsum</i> 4% dan variasi limbah karbit 12%, 14%, dan 16% sebagai bahan pengganti semen.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Rencana Penelitian yang akan Dijalankan

Jenis	Liberty Juniasy Somalinggi dkk (2020)	Raihan Ludi Pratama dkk (2022)	I Gede Raditya Lalita dkk (2023)	Sahat Martua Sihombing dkk (2023)	Triyana Vivian Wagio dkk (2023)	Penulis (2024)
Kuat Tekan Rencana	25 MPa	20 MPa	25 MPa	18 MPa	30 MPa	25 MPa
Jenis Limbah	Limbah Karbit	Limbah <i>Gypsum</i>	Limbah <i>Gypsum</i>	Limbah <i>Gypsum</i>	Limbah <i>Gypsum</i> dan Limbah Karbit	Limbah <i>Gypsum</i> dan Limbah Karbit
Jenis Pengujian	Kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas	Kuat lentur beton	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas	Kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas
Benda Uji	Silinder 15cm x 30cm	Silinder 15cm x 30cm	Silinder 15cm x 30cm	Silinder 15cm x 30cm	Silinder 15cm x 30cm	Silinder 15cm x 30cm
Umur Beton	28 hari	28 hari	7, 14 & 28 Hari	7, 14 & 28 Hari	3, 7, 21 & 28 Hari	28 Hari

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dengan Rencana Penelitian yang akan Dijalankan

Hasil Penelitian	Kekuatan beton yang memakai limbah karbit sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 4%, 6%, dan 8% diperoleh nilai kuat tekan optimum pada variasi 4% dan dapat dilihat bahwa limbah karbit dapat mempengaruhi kekuatan beton.	Peningkatan kuat lentur tertinggi terjadi pada penambahan serat karet ban 3 % dan limbah gypsum 4%, yaitu mencapai 51,11 kg/cm ³ , atau mengalami peningkatan sebesar 30,68 % apabila dibandingkan dengan beton normal.	20% limbah <i>gypsum</i> pada campuran beton dapat membuat kuat tekan yang cukup tinggi karena limbah <i>gypsum</i> mengisi celah-celah pada agregat sehingga menjadi lebih padat dan memaksimalkan kuat tekan dan nilai ekonomis campuran beton.	Hasil menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, kuat tekan beton f'c = 18 MPa adalah 18,08 MPa. Setelah 14 hari, kuat tekan beton dengan variasi 10% limbah <i>gypsum</i> sebagai bahan pengisi adalah 19,18 MPa. Setelah berumur 28 hari, kuat tekan beton yang mengandung 20% limbah <i>gypsum</i> sebagai bahan pengisi adalah 19,71 MPa.	Nilai maksimum dengan variasi 12% dicapai pada pengujian berupa modulus elastisitas, tarik belah, dan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa menambahkan limbah las karbit dan limbah <i>gypsum</i> ke dalam beton dapat memperkuat beton.	
------------------	--	--	---	---	---	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Salah satu komponen khusus penting bangunan yang diperlukan dalam konstruksi (proyek) ialah beton. Mengikuti cepatnya perkembangan zaman di era globalisasi, perlu dilakukan inovasi (ide) untuk meningkatkan kualitas konstruksi seperti pada kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton yang akan diaplikasikan nantinya, dimana terdapat beberapa campuran yaitu berupa agregat, air, dan semen. Banyak cara yang bisa dilakukan, salah satunya dengan menambahkan satu atau dua bahan tambah dan mensubstitusi bahan tersebut dengan campuran beton. Proporsi pencampuran, mutu material, proses pengecoran, dan keadaan perawatan hanyalah beberapa variabel yang mempengaruhi nilai kekuatan dan ketahanan beton.

Beton tidak dibuat dengan mudah, hal ini membutuhkan lebih dari sekedar menggabungkan bahan-bahan dasar material seperti yang biasanya dilakukan pada bangunan sederhana. Untuk menghasilkan beton yang memenuhi spesifikasi dan bermutu, perlu diperhatikan pada perhitungan yang cermat dan teliti untuk menentukan campuran beton yang tepat. Oleh karena itu, komposisi beton harus dibuat sebaik mungkin agar hasil yang diinginkan sesuai dengan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas sesuai perencanaan awal.

3.2 Material Penyusun Beton

Semen, air, agregat merupakan bahan pembuat beton. Setiap komponen yang dipergunakan dalam pembuatan beton memiliki tujuan yang berbeda-beda. Seperti halnya dengan agregat halus sebagai pengisi dan pengikat agregat kasar serta memberikan kekuatan pada beton.

3.2.1 Semen *Portland*

Semen *portland* ialah semen yang terbuat dari menggiling terak yang terbuat dari senyawa kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersamaan dengan

bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh juga ditambah dengan bahan tambah-tambahan lain (SNI-03-7656-2012). Semen yang dipadukan dengan air menghasilkan mortar, biasa disebut sebagai pasta semen jika ditambahkan agregat halus (pasir) menjadi gabungan yang disebut sebagai mortar dan bila ditambahkan agregat kasar (kerikil) membentuk campuran yang biasa disebut sebagai beton.

Komposisi kimia berupa (CaO) kapur, (SiO₂) silica, (Al₂O₃) alumina, (Fe₂O₃) oksida besi, (MgO) magnesium, (SO₃) sulfur, dan (Na₂+K₂O) soda/potash merupakan beberapa kandungan utama semen. Persentase kandungan dari beberapa materi dasar pembentukan semen *portland* bisa dilihat di Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Utama Semen

Persen Kandungan %	Komposisi
70 - 60	Kapur (CaO)
25 - 17	Silika (SiO ₂)
8,0 - 3,0	Alumina (Al ₂ O ₃)
6,0 - 0,5	Besi (Fe ₂ O ₃)
5,5 - 0,1	Magnesia (MgQ)
3,0 - 1,0	Sulfur (SO ₃)
1,3 - 0,5	Soda/potash (Na ₂ +K ₂ O)

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

Selain beberapa kandungan dasar semen yang tercantum pada Tabel 3.1 sebelumnya, semen *portland* dikategorikan ke dalam lima kelompok berikut sesuai dengan tujuan penerapannya (SNI 2049-2004) ialah sebagai berikut.

1. Tipe I ialah semen untuk pemakaian yang tidak perlu memenuhi spesifikasi yang sama dengan jenis semen lainnya.
2. Tipe II ialah semen yang harus memiliki ketahanan panas hidrasi sedang atau tahan terhadap sulfat.
3. Tipe III ialah semen yang harus memiliki kekuatan tinggi pada awal ikatan.
4. Tipe IV ialah semen yang harus membutuhkan kalor hidrasi rendah.
5. Tipe V ialah semen yang harus memiliki ketahanan sangat tinggi terhadap sulfat

3.2.2 Air

Air dapat bereaksi secara kimia dengan semen yang ialah salah satu komponen bahan utama terbuatnya beton. Agar reaksi semen mulai mengikat dan butiran agregat mudah kerjakan dan dipadatkan, air berfungsi sebagai pelumas. Kekuatan beton dipengaruhi oleh air lantaran jumlah air yang berlebihan pada semen mengakibatkan terjadinya beton *bleeding* dan kehilangan kekuatannya. Air yang memenuhi kriteria air mineral merupakan jenis yang tepat untuk digunakan pada campuran beton, namun tidak semua jenis air yang memenuhi kualitas tersebut dapat bekerja dengan baik pada campuran beton. Memeriksa atau menentukan faktor air semen (fas) dalam campuran merupakan beberapa cara untuk memastikan stabilitas dan kekuatan campuran beton terpenuhi sesuai mutu rencana. Adapun syarat yang harus disesuaikan dalam pemanfaatan air dalam campuran ialah sebagai berikut (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992):

1. Tidak adanya lumpur $> 2,0$ gram per liter,
2. Tidak adanya garam (asam, dsb) $> 15,0$ gram per liter,
3. Tidak adanya klorida (Cl) $> 0,5$ gram per liter, dan
4. Tidak adanya senyawa sulfat $> 1,0$ gram per liter

3.2.3 Agregat

Biasanya agregat berfungsi sebagai pengisi dalam beton, memungkinkan pasta semen membantu beton menempel pada dirinya sendiri. Agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa kerikil merupakan bahan agregat. Ciri-ciri agregat yakni porositas, gradasi dan ukuran, daya serap, kekasaran permukaan, kekuatan putus, modulus elastisitas, dan adanya zat yang dapat merusak beton. Dari volume total beton, volume 70-75% merupakan agregat.

Agregat menurut Tjokrodinuljo (2007) dapat dipecah menjadi tiga kelompok ukuran, yaitu sebagai berikut:

1. Batu yang berukuran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil yang berukuran 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir yang berukuran 0,15 mm sampai 5 mm.

Agregat dipisahkan menjadi dua kategori yakni agregat halus dan agregat kasar, tergantung pada ukuran butirnya.

1. Agregat Halus

Bersumber dari Standar Nasional Indonesia 03-2834-2000, agregat halus ialah pasir alami dihasilkan dari pelarutan batu atau dibuat oleh industri penghancur batu dan ukuran butirnya berkisar antara 0,15 mm hingga 5 mm, atau melewati saringan 4,75 mm menurut analisis saringan. Empat zona yang diidentifikasi melalui uji gradasi terdapat dalam distribusi ukuran agregat halus (pasir), sebagaimana ditunjukkan di Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Batasan Gradasi Agregat Halus

No ayakan (mm)	Persen berat bagian yang lolos ayakan (%)			
	Daerah Gradasi I	Daerah Gradasi II	Daerah Gradasi III	Daerah Gradasi 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-03-2834-2000

Keterangan:

Gradasi agregat halus I : Pasir kasar

Gradasi agregat halus II : Pasir agak kasar

Gradasi agregat halus III : Pasir agak halus

Gradasi agregat halus IV : Pasir halus

Berikut ini penjelasan spesifikasi yang harus disesuaikan oleh agregat halus, atau pasir, sesuai sumber (PBI, 1971) Bab 3.3:

1. Agregat halus berupa pasir buatan hasil mesin penghancur batu atau pasir alam dari sungai.

2. Agregat halus harus terbuat dari beberapa butiran tajam dan keras. Butiran agregat halus memiliki sifat kekal, berarti tidak hancur oleh pengaruh segala cuaca, seperti panas, lembap dan hujan.
3. Berdasarkan berat keringnya, komposisi kandungan lumpur tidak boleh dari 5% dari agregat halus. Agregat halus harus dibersihkan jika konsentrasi lumpur lebih 5%.
4. Tidak adanya kandungan bahan organik yang banyak dalam agregat halus.
5. Agregat halus terbuat dari butiran dengan ukuran berbeda dan memenuhi kriteria berikut dan jika diayak dengan menggunakan komposisi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.5 ayat (1):
 - a. Sisa ayakan no 4,0 mm, harus minimal 2% berat,
 - b. Sisa ayakan no 1,0 mm, harus minimal 10% berat, dan
 - c. Sisa ayakan no 0,25 mm, harus antara 80% dan 95% berat.
6. Kecuali diizinkan oleh lembaga pemeriksaan material yang memiliki reputasi baik, pasir laut tidak bisa dipergunakan sebagai agregat halus teruntuk semua mutu beton tanpa izin.
2. Agregat Kasar

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2834-2000, bahan utama yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan retensi ukuran partikel pada saringan 4,75 mm, atau lebih besar dari 5 mm hingga 40 mm, adalah agregat kasar. Pecahan alami batuan atau batu pecah yang pecah secara fisik atau akibat alat penghancur batu merupakan agregat kasar yang dimanfaatkan sebagai bahan utama beton. Gradasi agregat yang dimana ukuran maksimum agregat kasar (kerikil) diperlukan untuk membuat beton dengan kekompakan yang tinggi dikelompokkan menjadi tiga zona yang diketahui dari uji gradasi yang diberikan di Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Batasan Gradasi Agregat Kasar

No ayakan (mm)	Persen berat bagian yang lolos ayakan (%)		
	Ukuran agregat (mm)		
	Maks 40 mm	Maks 20 mm	Maks 10 mm
38,10	100 - 95	100	-
19,00	70 - 37	100 - 95	100
9,50	40 - 10	60 - 30	85 - 50
4,80	5 - 0	10 - 0	10 - 0

Sumber: SNI-03-2834-2000

Berikut ini penjelasan spesifikasi yang harus disesuaikan oleh agregat kasar, atau kerikil, sesuai dengan (PBI, 1971) Bab 3.4:

1. Agregat kasar berupa batu pecah atau kerikil yang berasal dari batuan pecah.
2. Agregat kasar harus terbuat dari partikel padat tidak berpori. Butiran agregat kasar harus tahan lama, berarti faktor lingkungan seperti hujan dan panas tidak dapat merusak atau menghancurkannya.
3. Jumlah lumpur dalam agregat kasar (dihitung hingga berat kering) tidak dapat melebihi 1%. Perlu untuk mencuci agregat kasar jika konsentrasi kotoran lebih dari 1%.
4. Bahan kimia alkali reaktif dan bahan lain yang mungkin merusak beton tidak dapat ada dalam partikel kasar.
5. Mesin pengaus *Los Angeles* digunakan untuk menguji kekerasan butiran agregat kasar, tidak lebih dari 50% kehilangan berat.
6. Agregat kasar harus memenuhi kriteria berikut jika diayak dengan menggunakan susunan ayakan dan harus terdiri dari potongan-potongan berbeda dengan ukuran yang berbeda-beda sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.5 ayat (1):
 - a. Sisa ayakan no 31,50 mm, harus memiliki berat 0% berat,
 - b. Sisa ayakan no 4,0 mm, antara 90% dan 98% berat, dan
 - c. Selisih antara kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, ialah maksimal 60% dan minimal 10% berat.

7. Ukuran butiran agregat maksimum tidak besar dari sepertiga dari ketebalan pelat, seperlima dari celah terendah antara bidang samping, atau tiga perempat ruang jernih minimum antara batang penguat ataupun berkas tulangan.

3.3 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bersumber ASTM C 125, bahan tambah (*admixture*) adalah bahan apa pun yang ditambahkan ke campuran selama pengadukan yang bukan air, agregat, semen, atau serat. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengubah karakteristik pengadukan beton, seperti mengurangi getas alam, mempercepat proses, menurunkan pengerasan, mengurangi panas hidrasi, dan meningkatkan daya tahan. Bahan tambahan juga termasuk bahan yang bukan air, agregat, atau semen yang dicampur secara singkat atau menyeluruh ke dalam campuran. Tujuannya adalah untuk mengubah karakteristik pasta beton atau semen untuk membuatnya sesuai untuk tujuan seperti bernilai ekonomis dan penggunaan menghemat energi (Mulyono T, 2007). Secara umum bahan tambah ada yang berupa *additive* dan *admixture*. *Additive* adalah bahan tambah yang ditambahkan pada semen saat pengadukan berlangsung, sedangkan *admixture* adalah bahan tambah yang ditambahkan saat pencampuran beton berlangsung atau pada saat pelaksanaan pengecoran (*placing*). *Admixture* dapat dikategorikan menjadi dua yaitu salah satu bahan memiliki sifat kimia (*chemical admixture*) dan satunya lagi bersifat mineral (*mineral admixture*).

1. *Chemical Admixture*

Chemical Admixture (ASTM C 494), yaitu bahan cair berupa kimiawi yang diaplikasikan menyesuaikan waktu kerasnya beton (lambat atau cepat), mengurangi jumlah air, membuat *workability* beton lebih mudah, dapat meningkatnya nilai *slump*, dan lain-lainnya. Tujuan penambahan berbagai jenis bahan dapat dipisahkan ke dalam kategori berdasarkan standar acuan ASTM C 494 dan Pedoman Beton 1989, tujuan-tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

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

Water-Reducing Admixtures yakni aditif yang dikenal sebagai "pencampuran pengurangan air" menurunkan totalair yang dibutuhkan untuk mencampur beton ke spesifikasi rancangan. Antara lain, pencampuran pengurangan air digunakan untuk membangun beton dengan rasio faktor air semen tetapi juga untuk menurunkan kadar air semen dan nilai *slump*.

b. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures ialah bahan tambahan yang dipakai untuk memperlambat waktu mengikat beton, ini digunakan untuk memperpanjang waktu pemadatan dengan *vibrator* sebagai pencegah *cold joints* yang dapat meminimalkan dampak terhadap penurunan ketika beton menunda periode pengikatan beton (waktu pengaturan), misalnya karena cuaca panas.

c. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures yaitu salah satu bahan bisa membantu ikatan beton dan mendapatkan kekuatan awal lebih cepat. Zat ini bisa untuk mempersingkat periode hidrasi dan mempercepat pengembangan kekuatan beton. Ketika elemen struktural konkret perlu segera dibebani oleh kegiatan berikut karena waktu implementasi yang ketat, misalnya, bahan tambahan dengan fungsi percepatan dipakai sebagai tujuan untuk mencapai kekuatan awal yang lebih besar di beton.

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

Water Reducing and Retarding Admixtures yakni bahan tambahan termasuk menghambat pengikatan awal dan menurunkan jumlah air jika dibutuhkan untuk pencampuran untuk membuat beton dengan spesifikasi rancangan. Beberapa bahan tambahan memiliki berbagai fungsional berbeda, seperti menurunkan jumlah air yang dibutuhkan untuk mengaduk beton sambil mempertahankan tingkat pengadukan tertentu dan menunda proses pengikatan awal ataupun pengerasan beton. Zat ini dapat ditambahkan di beton untuk menurunkan kadar semen sesuai dengan penurunan kadar air. Karena zat *additive* ini adalah cairan, berat campuran harus ditambahkan ke berat beton untuk menentukan jumlah air pengaduk yang sesuai.

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

Water Reducing and Accelerating Admixtures ialah bahan tambahan termasuk menghambat pengikatan awal dan menurunkan jumlah air jika dibutuhkan untuk pencampuran untuk membuat beton dengan spesifikasi rancangan. Beberapa jenis bahan tambahan memiliki berbagai fungsi, seperti mempercepat proses ikatan awal ataupun pengerasan beton sambil mengurangi jumlah air untuk mengaduk beton dan mempertahankan konsistensi mutunya. Ketika beton dan komponen semacam ini digabungkan, beton dengan waktu ikat yang cepat dan sedikit kadar air tetapi kemampuan kerja terbentuk. Diperkirakan bahwa dengan menggunakan material ini, beton dengan kekuatan awal yang tinggi dan waktu ikat yang lebih cepat akan memiliki kekuatan tekan tinggi.

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

Water Reducing High Range Admixtures yakni bahan tambahan yang, dalam keadaan tertentu, membantu memotong jumlah air yang dibutuhkan untuk membangun beton sebesar 12% atau lebih. Mengurangi berat air yakni 12% atau lebih (hingga 40%) memungkinkan penambahan bahan menggunakan fungsi HRWR untuk mencapai tingkat konsistensi atau standar yang diperlukan. Ketika berat air berkurang lebih dari 12%, bahan tambahan tipe A menyajikan fungsi yang sama. Biasanya, HRWR, atau tipe material tambahan F, dicampur atau diterapkan pada area casting/pengecoran.

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

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures ialah bahan tambahan yang berfungsi pengurangan total air yang diperlukan untuk mencampur beton hingga spesifikasi rancangan hingga 12% atau lebih, bahan tambahan juga mencegah beton dari ikatan dan pengerasan. Zat ini memperlambat waktu beton, bertindak sebagai kombinasi *superplasticizer*. Digunakan saat ruang kerja dan sumber daya langka dan tugasnya terbatas. Dengan berkurangnya berat air yang dipakai oleh 12% atau lebih (hingga 40%), bahan tambahan dengan fungsi *retaching* HRWR + dipakai untuk menghasilkan efek yang sebanding dengan bahan tipe D Plus.

2. *Mineral Admixture*

Jenis bahan tambah *mineral admixture* (additive) yang ditambahkan pada beton ditujukan untuk menambahkan *additive* material ke beton adalah untuk meningkatkan semen dan meningkatkan kekuatan tekan beton. Tanpa butiran agregat halus, beton kehilangan keterpaduannya dan lebih rentan terhadap *bleeding*. Biasanya, butiran agregat halus digunakan sebagai *additive* untuk membantu masalah ini. *Additive* sering ditambahkan ke beton tipis atau beton yang tidak memiliki agregat halus dan beton biasa yang membutuhkan banyak pemompaan. Penambahan termasuk *fly ash*, *slag*, *pozzolan*, dan *silica fume*.

a. *Pozzolan*

Pozzolan ialah bahan tambah berupa kandungan senyawa silika dan alumina, yang, bila dikombinasikan dengan air, bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida dan memiliki tekstur halus alih-alih kualitas seperti semen. Membentuk senyawa hidrat alumina kalsium dengan karakteristik seperti semen pada suhu normal.

b. *Fly ash* (Abu Batu Bara)

Fly ash yakni produk sampingan sisa bakaran batubara residual, yang melewati lubang dari ruang pembakaran dan digunakan sebagai campuran beton. Di Inggris, bubuk abu pembakaran disebut sebagai abu terbang atau *fly ash*. Kekuatan ikatan *fly ash* lebih rendah daripada semen. Namun, silika oksida dalam *fly ash* secara kimia akan bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dibuat selama hidrasi semen di hadapan air dan ukuran partikel yang halus dari abu terbang, menghasilkan bahan yang memiliki kapasitas untuk mengikat.

c. *Slag*

Definisi *slag* menurut ASTM C 989 adalah produk non logam baik-baik saja, produk sampingan granular sisa bakaran yang setelahnya didinginkan, dengan cara merendamnya dalam air. Keuntungan dari pemakaian bahan *slag* dalam campuran beton ialah sebagai berikut (Levis, 1982):

- a) Mempercepat tinggi kekuatan beton khususnya kuat tekan, sebab cenderung lambatnya kenaikan kuat tekan,

- b) Meningkatkan rasio pada lenturnya dan tekan yang direncanakan,
- c) Mengurangi satu atau dua varian kuat tekan,
- d) Mempertahankan ketahanan tinggi terhadap sulfat air laut,
- e) Mengurangi penggunaan alkali silica,
- f) Mengurangi hidrasi dan menurunkan suhu yang ditimbulkan,
- g) Memperbaiki sentuhan akhir penyelesaian dan warna cerah pada beton,
- h) Memperbaiki keawetan akibat berubahnya volume yang terjadi pada beton, dan
- i) Mengurangi adanya porositas.

d. *Silica fume*

Bersumber ASTM C 1240-95 ialah bahan tambahan berupa *pozzolan* halus, di mana kombinasi paduan besi silikon atau pembuatan silikon residual menghasilkan komposisi silika beton yang lebih tinggi (dikenal sebagai kombinasi). Misalnya, beton pracetak atau *precast*, dinding geser, kolom struktural, dan sejumlah aplikasi lainnya.

3.3.1 Limbah *Gypsum*

Satu mineral yang memiliki kadar kalsium tinggi yang mendominasi komposisi mineral adalah *gypsum*. *Gypsum* yang dikalsinasi umumnya digunakan dalam konstruksi untuk membuat *casting plester*, yang merupakan bahan mendasar untuk produksi bubuk kapur dan juga digunakan untuk memproduksi alat keramik, gigi, dan bahan lainnya. Jika *gypsum* bersentuhan langsung dengan air, itu akan dengan cepat mengeras. Ini berarti bahwa suhu yang lebih besar akan menyebabkan *gypsum* mengering dalam bentuk ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sehingga akan menurunkan bobot air hidrasi. Untuk mengurangi perubahan agregat dan penyusutan pada beton, ditambahkan *gypsum* sebagai pengganti semen dalam campuran beton agar meningkatkan panas hidrasi sementara dan mempercepat proses pengerasan (Heru Sugiano, 2019). Tujuannya ialah untuk mengganti beberapa persentase semen dalam campuran beton dengan limbah *gypsum*. Dengan menggunakan limbah *gypsum*, lebih sedikit bahaya bagi lingkungan dan lebih sedikit semen *portland* yang digunakan dalam campuran beton. Berikut adalah isi kandungan dari limbah *gypsum* di Tabel 3.4 dan Gambar 3.1 berikut ini.

Tabel 3.4 Kandungan Limbah Gypsum

Komposisi	Persen Kandungan (%)
CaO	41,2
SiO ₂	0,67
Al ₂ O ₃	1,02
Fe ₂ O ₃	0,173
SO ₃	55,14

Sumber: Taufik Hidayat (2023)

3.3.2 Limbah Karbit

Sisa bakaran karbit yang tersisa yang tidak segera digunakan lagi dikenal sebagai limbah karbit. Karakteristik fisik dari jenis limbah karbit ini adalah dalam bentuk bubuk, yang tidak larut, berbau kuat, dan menjadi abu abu di lingkungan lembab dan putih. limbah karbit ini berasal dari bisnis pengelasan, dan karena tidak digunakan secara efisien, itu merusak lingkungan. Menurut PP RI No. 101 tahun 2014 Tentang B3 menyatakan bahwa karena karbit adalah anggota dari kategori limbah B3 (yang mencakup unsur -unsur berbahaya dan beracun), itu dapat berpotensi membahayakan lingkungan sekitarnya serta memiliki efek buruk pada kesehatan manusia. Komposisi oksidasi limbah karbit yaitu SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, SO₃, dan LOL. Kapur yang merupakan buangan limbah industri asetilin digolongkan dalam jenis kapur yang dikenal sebagai limbah karbit banyak mengandung CaO, dimana kalsium oksida ini merupakan salah satu dari beberapa bahan pembuatan semen antara 60% sampai 65% serta bahan dasar lainnya seperti silika, alumina, dan oksida besi. Tujuan menambahkan limbah karbit adalah untuk meningkatkan kandungan kalsium yang diperlukan untuk reaksi pozzolanic terjadi ketika SiO₂ dikombinasikan dengannya. Reaksi pozzolanic yang membentuk bahan yang keras dan kaku dengan bereaksi kalsium, silika, atau alumina dengan air, hampir identik dengan proses hidrasi semen *portland* (Aswad, 2013). Ini adalah isi kandungan dari limbah karbit di Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Kandungan Limbah Karbit

Komposisi	Persen Kandungan (%)
SiO ₂	4,3
Fe ₂ O ₃	0,9
Al ₂ O ₃	0,4
CaO	56,5
MgO	1,7
SO ₃	0,06
LOI	36,1

Sumber: Makaratat (2010)

Pada saat ini, alih-alih menggunakan beberapa semen dalam campuran beton, studi penelitian dilakukan dengan menggunakan limbah karbit sebagai pengganti semen. Dengan menggunakan limbah karbit, lebih sedikit bahaya bagi lingkungan dan lebih sedikit semen *portland* dalam campuran beton akhir yang digunakan.

3.4 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton ialah proses menyusun, memilih dan memilah bahan-bahan material beton dari segi agregat, air, semen, dan menetapkan proporsi rencana dengan tujuan membuat beton dengan ketahanan, kekuatan, dan mutu yang telah direncanakan atau ditetapkan serta tetap bernilai ekonomis yang terjangkau. Perancangan campuran beton (*mix design*) berdasarkan acuan SNI-03-2834-2000 memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menetapkan kuat tekan rencana yang disyaratkan dan ditetapkan.
2. Menetapkan standar deviasi (Sd) didasari pada tingkat mutu pengendalian pekerjaan. Makin baiknya mutu pekerjaan akan semakin kecil deviasi standarnya. Begitu pula sebaliknya, faktor pengali yang bisa dilihat di Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.6 Nilai Deviasi Standar Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Mutu Pekerjaan	Standar deviasi (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa adanya Kendali	8,4

Sumber: SNI-03-2834-2000

Tabel 3.7 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Standar Deviasi
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber: SNI-03-2834-2000

Perhitungan nilai tambahan (M) yang dipergunakan di kuat tekan bisa memanfaatkan Persamaan 3.1 berikut.

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

Keterangan:

M = Nilai tambahan

Sd = Standar deviasi (MPa)

3. Menetapkan Kuat Tekan Rata-Rata Rencana (f'_{cr})

Perhitungan kuat tekan rerata rencana bisa memanfaatkan Persamaan 3.2 berikut.

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

Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan rerata rencana (MPa)

f'_c = Kuat tekan (MPa)

M = Nilai tambahan

4. Menetapkan Tipe Semen

Tipe semen yang dipakai dapat menyesuaikan tipe dan fungsinya.

5. Menetapkan Jenis Agregat

Agregat yang dipakai didasarkan pada penyesuaian dengan ukuran butiran persyaratan yang ada.

6. Menetapkan Nilai Faktor Air Semen (FAS)

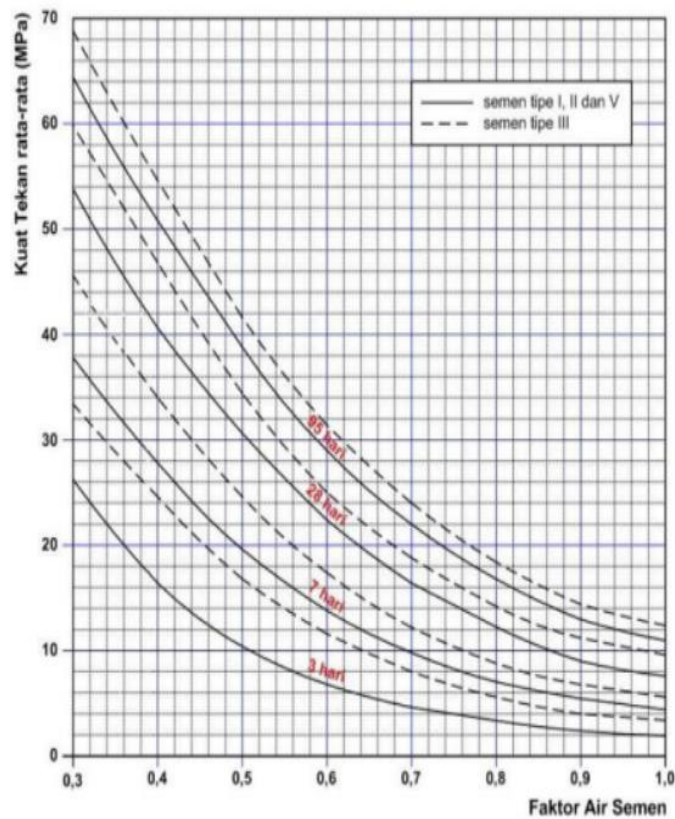
a. Kuat tekan ditetapkan di umur 3, 7, 28, dan 29 hari. Adapun nilainya bisa dilihat di Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas dan Agregat

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				
		Umur				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen <i>Portland</i> Tipe I	Batu tidak pecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak pecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tidak pecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak pecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI-03-2834-2000

b. Garis lengkung dibuat dan ditentukan berdasarkan kaitan antara nilai kuat tekan dengan fas dapat dilihat di Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas (Silinder Diameter 15 cm dan Tinggi 30 cm)

Sumber: SNI-03-2834-2000

- c. Fas ditetapkan dengan menghubungkan kuat tekan beton yang didapat di Gambar 3.1
7. Penetapan FAS (faktor air semen) maksimal dan minimal berdasarkan Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Lingkungan

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52

**Lanjutan Tabel 3.9 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas
Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Lingkungan**

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di luar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung 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. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		SNI-03-2834-2000 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		SNI-03-2834-2000
b. Air laut		Tabel 5

Sumber: SNI-03-2834-2000

8. Menetapkan *Slump*

Penentuan nilai *slump* dilakukan dengan cara mengecek tingkat *workability* pada campuran mutu beton rencana.

9. Menetapkan Ukuran Butiran Agregat Maksimum

Beberapa prasyarat dalam memilih ukuran butiran agregat ialah sebagai berikut.

- a. Tidak lebih 1/5 jarak terkecil antarbidang samping dari cetakan beton,
- b. Tidak lebih 1/3 dari ketebalan plat, dan
- c. Tidak lebih 3/4 dari jarak minimal di antara tulangan

10. Menetapkan Kadar Air Bebas Agregat Campuran

Kadar air bebas agregat (halus dan kasar) didapat dengan memperhitungkan kombinasi antara kadar air campuran. Perkiraan kadar air bebas bisa dilihat di Tabel 3.10 sebagai berikut.

Tabel 3.10 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

Berdasarkan perkiraan sebelumnya, kadar air bebas agregat campuran bisa dihitung dari Persamaan 3.3 berikut.

$$W = \frac{2}{3} Wh + \frac{2}{3} Wk \quad (3.3)$$

Keterangan:

W = Kadar air bebas (kg/m³)

Wh = Asumsi kadar air agregat halus (kg/m³)

Wk = Asumsi kadar air agregat kasar (kg/m³)

11. Menetapkan Total Kadar Semen per m³ beton

Banyaknya kadar semen yang diperlukan setiap m³ beton bisa dicari dari Persamaan 3.4 berikut.

$$C = \frac{W}{\text{Faktor Air Semen}} \quad (3.4)$$

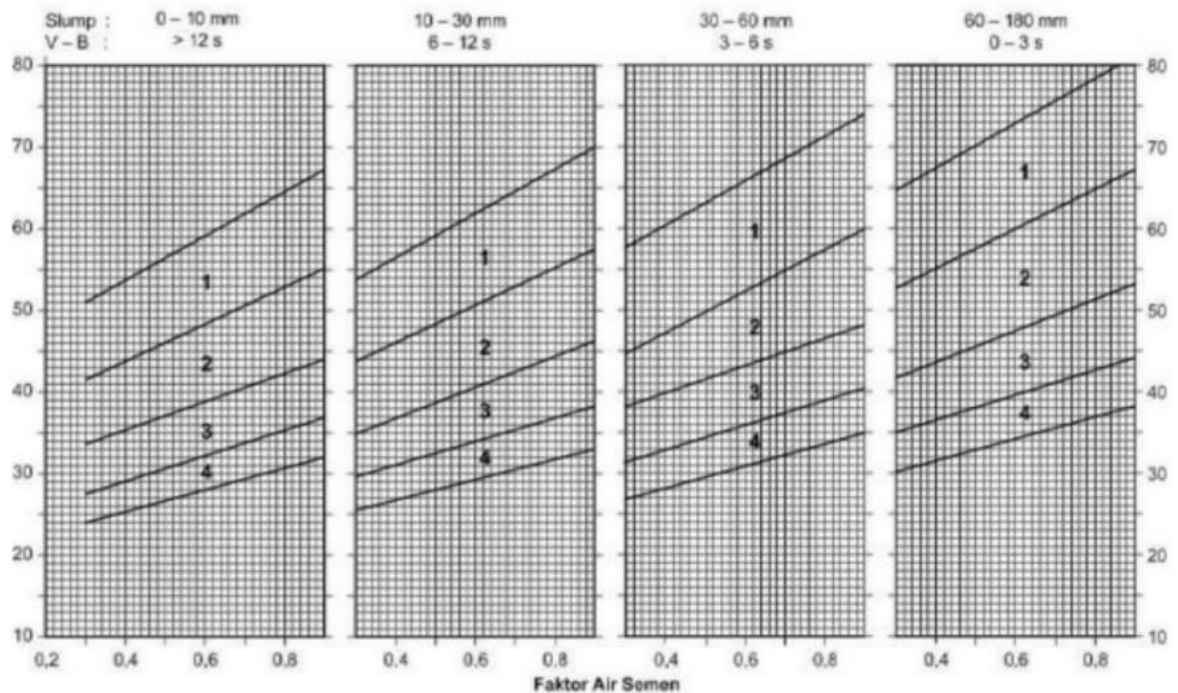
Keterangan:

C = Total kadar semen (kg/m³)

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

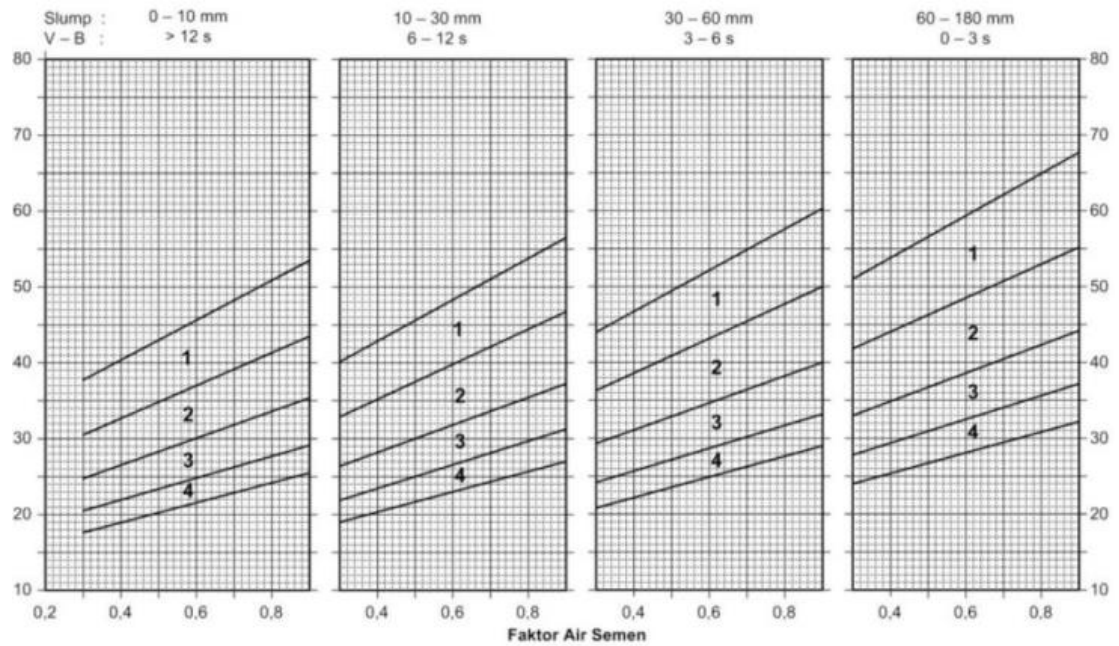
12. Menetapkan Persen Agregat

Penentuan persen agregat dapat menyesuaikan dengan ukuran maksimum butiran. Grafik yang bisa dipergunakan bisa dilihat di Gambar 3.2, 3.3, dan 3.4 berikut.



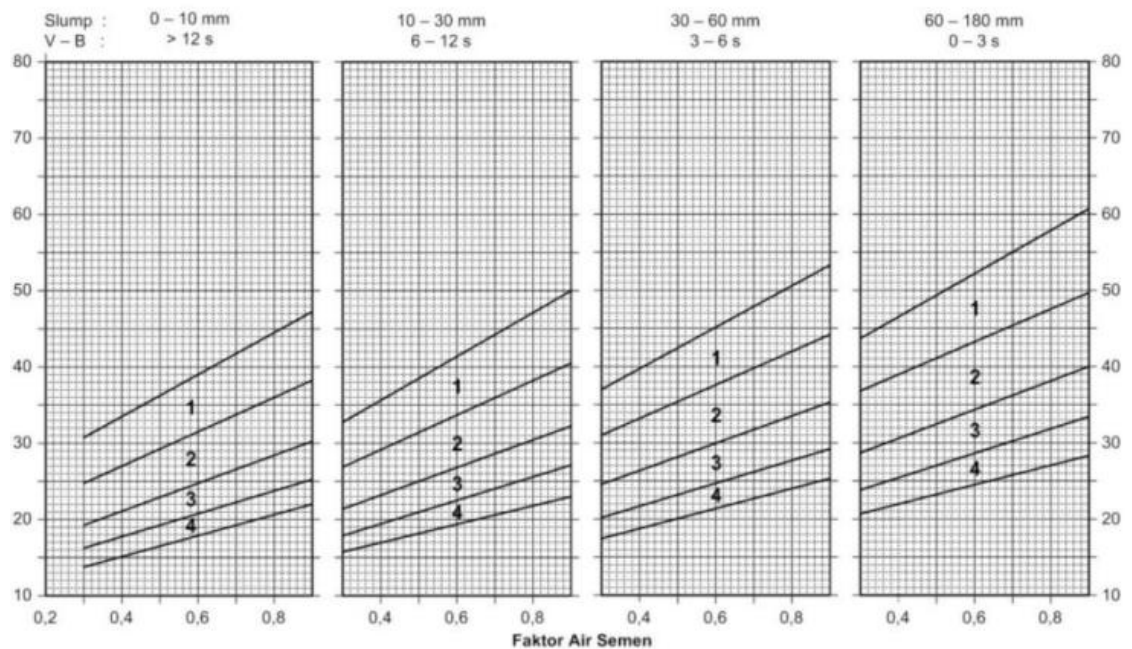
Gambar 3.2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Maksimum Butir 10 mm

Sumber: SNI-03-2834-2000



**Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk
Ukuran Maksimum Butir 20 mm**

Sumber: SNI-03-2834-2000



**Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk
Ukuran Maksimum Butir 40 mm**

Sumber: SNI-03-2834-2000

Persen agregat tersebut bisa dihitung dengan Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut.

$$\% \text{ Agregat Halus} = \frac{\text{Batas Atas} + \text{Batas Bawah}}{2} \quad (3.5)$$

$$\% \text{ Agregat Kasar} = 100\% - \% \text{ Agregat Halus} \quad (3.6)$$

13. Menetapkan Berat Jenis Agregat Gabungan

Pengujian berat jenis serta hasil dari persen agregat (halus dan kasar) bisa dipakai untuk mencari berat jenis agregat gabungan di Persamaan 3.7 berikut.

$$BJ_{gab} = (\%Halus \times BJ_{ag,halus}) + (\%Kasar \times BJ_{ag,kasar}) \quad (3.7)$$

Keterangan:

BJ_{gab} = Berat jenis gabungan

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

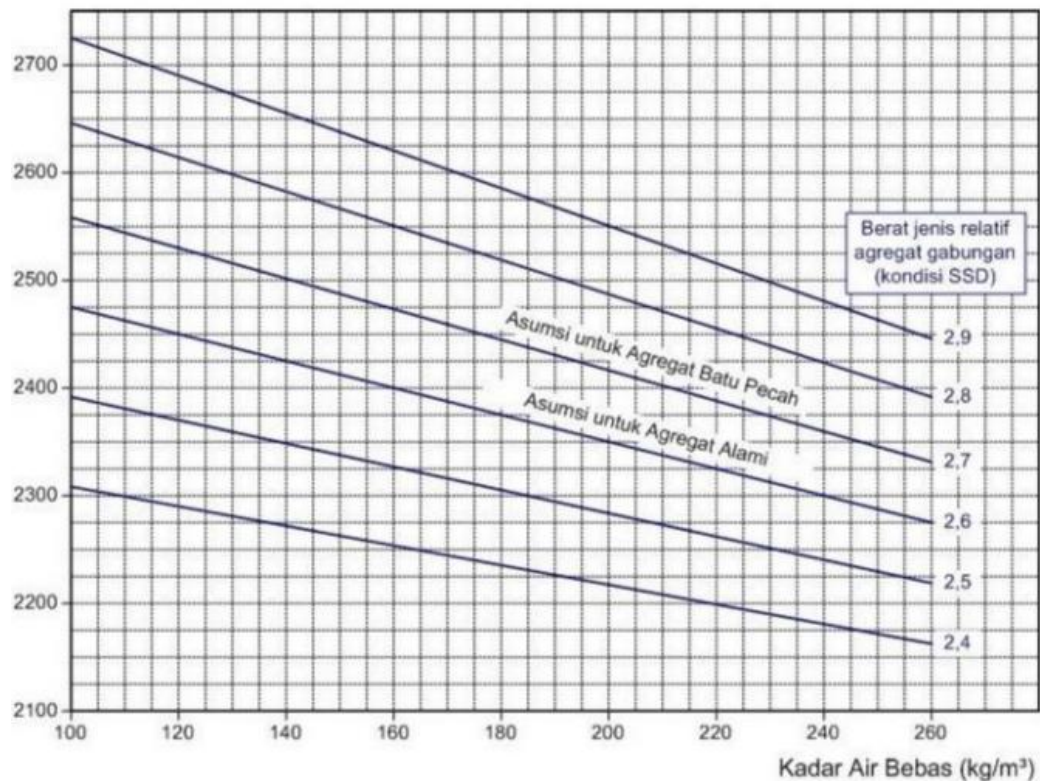
$BJ_{ag,kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

$\%Halus$ = Persen agregat halus (%)

$\%Kasar$ = Persen agregat kasar (%)

14. Menetapkan Nilai dari Berat Beton

Asumsi berat beton didapat dengan grafik yakni dengan membuat garis berat jenis agregat gabungan yang sudah diperhitungan dan ditandain. Kemudian setelahnya, menarik garis secara vertikal didasarkan pada kadar air bebas yang dipergunakan pada Tabel 3.10 sebelumnya hingga menyentuh garis yang dibuat pada berat jenis agregat gabungan. Selanjutnya, tarik garis secara horizontal dari perpotongan antara garis berat jenis agregat gabungan kadar air bebas ke kiri untuk memperoleh berat beton. Grafik yang dipakai dalam mendapatkan nilai asumsi berat beton bisa dilihat di Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Dipadatkan

Sumber: SNI-03-2834-2000

15. Menetapkan Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan total diperoleh dengan Persamaan 3.8 berikut.

$$W_{ag.gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.8)$$

Keterangan:

$W_{ag.gab}$ = Kadar agregat gabungan (kg/m³)

W_{beton} = Berat beton (kg/m³)

W_{semen} = Kadar semen (kg/m³)

w = Kadar air bebas (kg/m³)

16. Menetapkan Kadar Agregat (Halus dan Kasar)

Kadar antara agregat (halus dan kasar) didapat dari Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$W_{ag.halus} = \%Halus \times W_{ag.gab} \quad (3.9)$$

$$W_{ag.kasar} = W_{ag.gab} - W_{ag.halus} \quad (3.10)$$

Keterangan:

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

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

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

%Halus = Persen agregat halus (%)

17. Menghitung Kadar Limbah *Gypsum*

Kadar limbah *gypsum* yang dipergunakan diperoleh dengan cara yakni berat semen total yang digunakan dikurangi dan ditambah dengan limbah *gypsum*.

18. Menghitung Kadar Limbah Karbit

Kadar limbah karbit yang dipergunakan diperoleh dengan cara yakni berat semen total yang digunakan dikurangi dan ditambah dengan limbah karbit.

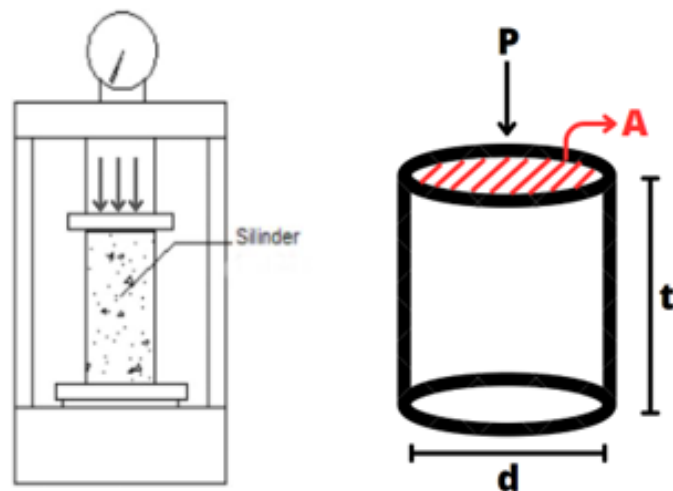
19. Hasil dari proporsi campuran tiap m^3 beton dikalikan dengan volume benda uji untuk memperoleh proporsi campuran uji.

3.5 Pengujian Beton

Pengujian beton dilakukan dengan tiga cara yang biasa dilakukan untuk penelitian ataupun untuk pekerjaan pada bangunan struktural yakni sebagai berikut.

3.5.1 Kuat Tekan Beton

Kemampuan beton yang mampu menahan gaya berupa tekan di luas permukaan beton dikenal sebagai kuat tekan beton. Beberapa kekuatan bagian beton yakni volume rongga, agregat, dan antarmuka, atau interaksi antara keduanya harus secara teoritis mempengaruhi kekuatan tekan beton. Karena hubungan yang kuat antara sifat beton dan kekuatan tekannya, kualitas mutu yang lebih tinggi dihasilkan dari nilai kekuatan tekan yang lebih besar. *Compression testing machine* (CTM) ialah salah satu alat uji yang dipakai untuk mengetahui nilai kuat tekan beton. Berikut merupakan ilustrasi uji kuat tekan di Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Ilustrasi Uji Kuat Tekan Bentuk Silinder

Bergantung pada jenis kombinasi, karakteristik agregat, dan tingkat perlakuan agregat serta komponen pada beton lainnya, kekuatan tekan beton dapat mencapai angka 1000 kg/cm² bahkan bisa lebih dari itu. Pada umumnya, khususnya penelitian kebanyakan untuk uji kuat tekan memakai benda berbentuk silinder dengan kuat tekan antara 15 MPa sampai 55 MPa. Metode perhitungan kekuatan tekan dapat ditemukan di Persamaan 3.11, yang didasarkan pada SNI 1974-2011.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

Keterangan:

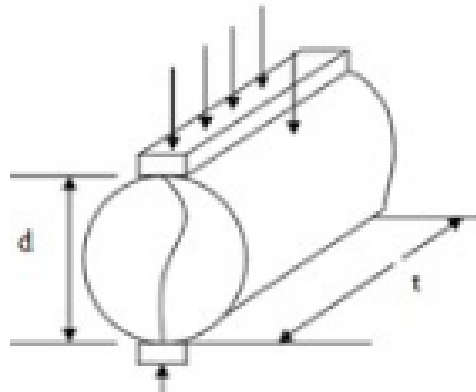
$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas tampang benda uji (mm²)

3.5.2 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik beton ialah kemampuan beton untuk menahan/menopang beban tarik. Kekuatan tarik beton biasanya akan rendah dibandingkan dengan kuat tekan tersebut dan dinyatakan dalam satuan yang sama. *Splitting test* atau *brazillian test* merupakan salah satu dari banyak alat untuk menguji kuat tarik belah beton. Berikut merupakan ilustrasi uji kuat tarik belah beton di Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Ilustrasi Uji Kuat Tarik Belah Bentuk Silinder

Nilai kekuatan tarik belah beton diperoleh dengan Persamaan 3.12, yang didasarkan pada SNI 03-2491-2002.

$$f_{ct} = \frac{2 P}{\pi D L} \quad (3.12)$$

Keterangan:

F_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa)

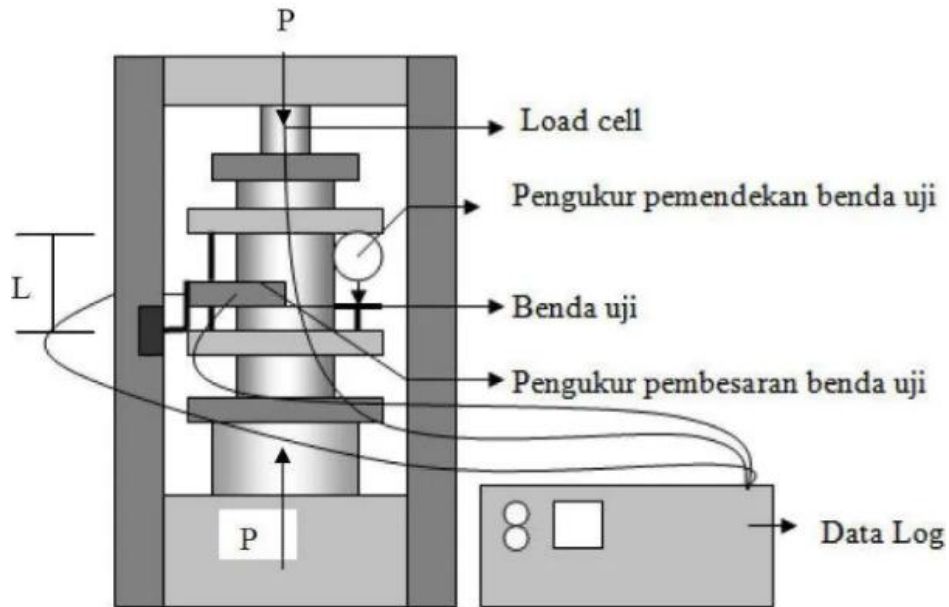
P = Beban maksimum (N)

D = Diameter (mm)

L = Panjang (mm)

3.5.3 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton ialah kemampuan beton untuk menahan/menopang gaya atau tegangan sebelum mengalami deformasi. Modulus elastisitas beton dilakukan pada *compression testing machine* (CTM) yang ditambahkan dial pada alat ekstensometer untuk mengetahui perubahan panjang (Δl) sehingga bisa dibuat grafik tegangan regangan yang dilanjutkan dengan perhitungan modulus elastisitas yang dimana tegangan dibagi regangan, dimana tegangan mencapai 40% dari kekuatan tekan maksimum yang diperoleh. Berikut merupakan ilustrasi uji modulus elastisitas beton di Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Ilustrasi Uji Modulus Elastisitas Bentuk Silinder

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis linear yang menghubungkan titik pusat dengan suatu regangan beton dan dianggap linier ketika nilai 40% dari kuat tekan tercapai dan diasumsikan kurva tidak linier sesaat sesudah mendekat dari 70% karena tegangan hancur yang menyebabkan hilangnya kekakuan pada beton. Nilai modulus elastisitas beton bisa ditemukan dengan rumus berdasarkan ASTM C469, ACI Committee, dan SNI-03-2847-2019 pada Persamaan 3.13, 3.14, dan 3.15 sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (3.13)$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

S_1 = Kuat tekan pada regangan mencapai $\epsilon_1 = 0,00005$

S_2 = Kuat tekan ketika 40% dari beban maks (MPa)

ϵ_2 = Regangan pada saat S_2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.14)$$

Keterangan:

ΔL = Deformasi (mm)

L_0 = Tinggi efektif (mm)

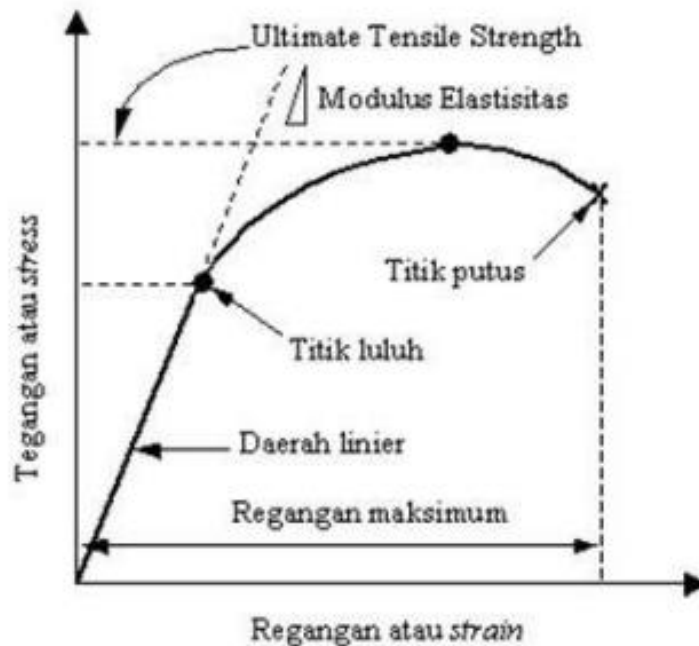
Modulus elastisitas dapat dicari juga dengan metode teoritis, berdasarkan acuan SNI 03-2847-2019 dan nilai modulus elastisitas dapat dicari di Persamaan 3.15 sebagai berikut.

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

Keterangan:

$\sqrt{f'_c}$ = Kuat tekan beton (MPa)

Harga elastisitas modulus bervariasi tergantung pada jenis material dan didefinisikan sebagai kemiringan garis singgung diagram tegangan dalam batas elastisitas linier (Giri dkk, 2008). Nilai tegangan f'_c bisa tercapai jika nilai maksimum saat regangan mencapai $\pm 0,002$ dan titik bawah untuk meniadakan pengaruh awal pada regangan 0,00005 dan titik atas ketika tegangan mencapai 40% dari regangan batas. Kekuatan dan lendutan beton dapat ditentukan oleh modulus elastisitasnya. Berikut merupakan grafik hubungan tegangan regangan pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Modulus Elastisitas

BAB IV

METODELOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metodelogi merupakan tahapan-tahapan dipakai dalam memecahkan masalah secara ilmiah untuk agar mendapat hasil data (fakta) yang rasional dan jenis penelitian ini berupa eksperimental yang bersifat kuantitatif. Tujuan metode eksperimen penelitian adalah untuk menelaah hubungan sebab dan akibat dari suatu variabel terikat dan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu variabel yang terkendali (variabel kontrol). Objek pada penelitian ini dilakukan dengan menambahkan limbah *gypsum* dan karbit dengan masing-masing presentase pada limbah *gypsum* sebesar 4% dan limbah karbit sebesar 12%, 14%, dan 16% sebagai pengganti sebagian dari semen total. Kemudian sampel dilakukan pengujian beton yakni pengujian kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari. Diharapkan penelitian ini bisa mengetahui pengaruh dari adanya bahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton.

4.2 Variabel Penelitian

Berdasar uraian di tinjauan umum, berikut ialah beberapa variabel sebagai acuan penelitian.

1. Variabel bebas

Variabel bebas penelitian ini yaitu limbah karbit.

2. Variabel terikat

Variabel terikat yaitu kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.

3. Variabel tetap

Variabel tetap yaitu kuat tekan rencana (f'_c), bentuk benda uji, limbah *gypsum*, sampel dimensi benda uji, dan proporsi campuran beton.

4.3 Bahan Penelitian

Bahan yang akan dipakai di penelitian ialah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang dipergunakan ialah *portland cement composite* (PCC) tipe I dengan merek Tiga Roda.



Gambar 4.1 Semen *Portland* Merek Tiga Roda

2. Agregat Halus

Agregat halus yang dipergunakan ialah pasir Merapi dari Cangkringan, Sleman.



Gambar 4.2 Pasir Merapi

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipergunakan ialah kerikil Clereng dari Kulon Progo.



Gambar 4.3 Kerikil Clereng

4. Air Suling

Air suling dipergunakan ialah air dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.4 Air Suling

5. Limbah Gypsum

Limbah *gypsum* yang dipergunakan dipenelitian ini ialah *gypsum* yang berasal dari pengrajin *gypsum* di Yogyakarta, Indonesia dengan variasi penambahan 4% sebagai pengganti sebagian semen.



Gambar 4.5 Limbah Gypsum

6. Limbah Karbit

Limbah karbit yang dipergunakan di penelitian ini adalah karbit yang berasal dari bengkel pengelasan yang ada di Yogyakarta, Indonesia dengan variasi penambahan 12%, 14%, dan 16% sebagai pengganti sebagian semen.



Gambar 4.6 Limbah Karbit

4.4 Alat Penelitian

Alat yang akan dipakai di penelitian ialah sebagai berikut.

1. Saringan Agregat

Saringan agregat berfungsi sebagai pemecah agregat menyesuaikan dengan ukuran butirannya pada saat pengujian.



Gambar 4.7 Saringan Agregat

2. Piknometer

Piknometer berfungsi untuk mengukur massa pengujian berat jenis dan penyerapan air pada pasir.



Gambar 4.8 Piknometer

3. Neraca *Ohaus*

Neraca *ohauss* berfungsi sebagai penakar material beton.



Gambar 4.9 Neraca *Ohaus*

4. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar berat dari material dan benda uji.



Gambar 4.10 Timbangan

5. Ember

Ember berfungsi sebagai penghimpun material yaitu agregat, semen, air, limbah *gypsum* dan karbit.



Gambar 4.11 Ember

6. Mesin Aduk (*Mixer*)

Mesin aduk berfungsi untuk mendukung proses adukan beton sehingga dapat tercampur dengan baik.



Gambar 4.12 Mesin Aduk (*Mixer*)

7. Cetakan

Cetakan berfungsi untuk membuat cetak sampel benda uji berbentuk silinder ataupun kubus.



Gambar 4.13 Cetakan Silinder

8. Kerucut *Abrams*

Kerucut *abrams* berfungsi untuk uji *slump* pada beton segar.



Gambar 4.14 Kerucut Abrams

9. Sekop

Sekop berfungsi untuk membantu penuangan beton ke dalam cetakan.



Gambar 4.15 Sekop

10. Oven (Pengering)

Oven berfungsi sebagai pengering bahan material selama 24 jam.



Gambar 4.16 Oven (Pengering)

11. Tongkat Tumbukan

Tongkat tumbukan berfungsi sebagai perata dan pemadat campuran beton di cetakan atau kerucut abrams.



Gambar 4.17 Tongkat Tumbukan

12. Kaliper

Kaliper berfungsi sebagai pengukur tebal, panjang, lebar, dan diameter sampel benda uji



Gambar 4.18 Kaliper

13. Gerobak Pendorong

Gerobak pendorong berfungsi untuk memudahkan mobilitas pada material ke tempat pencampuran beton.



Gambar 4.19 Gerobak Pendorong

14. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi sebagai takaran air yang dipakai ketika pencampuran beton di mesin aduk (*mixer*).



Gambar 4.20 Gelas Ukur

15. Mesin Uji Tekan, Tarik Belah, dan Modulus elastisitas beton

Mesin uji berfungsi agar bisa mengetahui nilai beban yang masuk dari sampel benda uji sampai hancur. Alat ekstensometer sebagai pengukur modulus elastisitas pada saat pengujian modulus elastisitas beton.



Gambar 4.21 Mesin Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar 4.22 Mesin Uji Kuat Tarik Belah Beton

4.5 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia mulai dari awal pengujian hingga sampai selesai dari pengujian dan sampai mendapatkan hasil dan data.

4.6 Benda Uji

Benda uji yang dipakai dipenelitian berupa beton normal dengan penambahan limbah berupa limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen. Sampel benda uji yang pakai untuk pengujian ialah silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan pengujian serta perawatan dilakukan sampai umur 28 hari. Sampel dipakai sebanyak 40 buah sampel silinder. Adapun perincian dan detail dengan berbagai macam variasi di penelitian bisa dilihat di Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Detail Sampel Benda Uji dengan Berbagai Variasi

Variasi (%)		Kode Benda Uji	Total Benda Uji Setiap Pengujian (Buah)	
Persen Limbah <i>Gypsum</i>	Persen Limbah Karbit		Kuat Tekan dan Modulus elastisitas	Kuat Tarik Belah
0	0	BN	5	5
4	12	TTM-GK ₁	5	5
4	14	TTM-GK ₂	5	5
4	16	TTM-GK ₃	5	5
Total			20	20
			40	

Adapun makusd kode benda uji adalah sebagai berikut.

BN = Beton normal

TTM = Tekan, tarik, dan modulus elastisitas beton

GK₁ = *Gypsum* dan karbit variasi 4% dan 12 %

GK₂ = *Gypsum* dan karbit variasi 4% dan 14 %

GK₃ = *Gypsum* dan karbit variasi 4% dan 16 %

4.7 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian tugas akhir dilakukan dalam beberapa poin sebagai berikut.

4.7.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian adalah tahapan awal sebelum pelaksanaan penelitian seperti mulai dari studi pustaka, membaca referensi, serta mempersiapkan bahan alat dan bahan.

4.7.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat ialah pengujian pada agregat yang memiliki fungsi untuk mendapatkan sifat dan ciri agregat sebelum dilakukannya pelaksanaan campuran beton. Pengujian ini dipakai untuk memenuhi standar perencanaan campuran beton (*mix design*) bersumber dari spesifikasi sesuai Standar Nasional Indonesia yang sudah ditetapkan. Beberapa pengujian agregat dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Bersumber dari SNI-03-1970-1990, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.

- a. Benda uji harus dikeringkan dalam oven yang diatur pada suhu 110°C hingga beratnya tidak berubah. Setelah tiga kali pengukuran terpisah dan dua jam pemanasan dalam oven, berat benda uji tidak berubah dan kadar airnya tidak berubah lebih dari 0,1%. Setelah didinginkan hingga suhu sekitar, benda uji direndam bak air selama 24 jam.
- b. Balikkan benda uji dan tuang air rendaman dengan perlahan, jangan sampai ada butiran jatuh. Ratakan agregat pada nampan dan dikeringkan dengan keadaan panas. Setelah itu, keringkan hingga permukaan yang direndam benar-benar kering.
- c. Untuk memverifikasi bahwa permukaan yang jenuh sudah kering, masukkan benda uji ke kerucut, tumbuk benda uji sebanyak 25 kali, lalu angkat kerucut tersebut untuk memperlihatkan permukaan yang kering.

Ketika benda uji tersebut ambruk saat masih dalam keadaan cetakannya, permukaan jenuh telah dicapai.

- d. Setelah memasukkan benda uji seberat 500 gram ke dalam piknometer, benda tersebut diisi dengan air suling hingga berisi 90% piknometer. Setelah gelembung udara di dalam piknometer hilang, piknometer dibalik dan dikocok lagi. Untuk mempercepat prosedur dan juga dapat menggunakan pompa vakum atau piknometer rebus, tetapi ada beberapa faktor yang perlu diingat. Misalnya, saat menggunakan pompa vakum tidak boleh ada air yang masuk.
 - e. Untuk menyesuaikan perhitungan di suhu air standar yaitu 25°C, piknometer dicelupkan ke dalam air dan diukur suhunya.
 - f. Sampai tanda batas, air ditambahkan.
 - g. Benda uji dan air ditimbang menggunakan piknometer dengan ketelitian timbangan 0,1 gram.
 - h. Benda uji diambil dari piknometer dan dikeringkan dalam oven di suhu 110°C. Setelah itu, benda uji didinginkan dengan desikator.
 - i. Timbang bahan uji yang telah dingin.
 - j. Piknometer diisi dengan air penuh dan ditimbang untuk mengetahui beratnya. Suhu air juga diukur agar perhitungan dapat disesuaikan suhu air yaitu 25°C.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
- Bersumber SNI-03-1969-1990, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.
- a. Cuci benda uji untuk menghapus debu atau bahan lain pada permukaannya.
 - b. Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji hingga beratnya tetap di 110°C. Apabila penyerapan dilakukan dan agregat digunakan pada kadar air asli, pengeringan ini tidak diperlukan.
 - c. Benda uji diambil dan didinginkan di suhu antara satu sampai tiga jam. Selanjutnya, ketelitian benda uji adalah 0,5 gram.
 - d. Pada suhu kamar, benda uji dirawat bak air selama 24 jam.

- e. Setelah benda uji dikeluarkan dari air, lap permukaannya dengan kain hingga tidak tertutup oleh selaput air.
 - f. Timbang permukaan jenuh benda uji saat kering.
 - g. Benda uji diletakkan di dalam nampan dan diguncangkan agar udara yang tersekap di dalamnya keluar. Selanjutnya, berat benda uji dalam air dihitung dan suhu air diukur agar perhitungan dapat disesuaikan menggunakan suhu yaitu 25°C.
3. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus
- Bersumber SNI-03-4804-1998, pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.
- a. Oven dipakai sebagai pengering benda uji hingga beratnya tetap pada 110°C.
 - b. Benda uji diambil dan didinginkan selama satu hingga tiga jam. Setelah itu, ditimbang sampai ketelitian 0,5 gram.
 - c. Setelah silinder atau tabung ukur ditaruh di tempat yang datar, uji berat dilakukan di dua kondisi: volume padat dan volume gembur. Uji volume padat dan gembur dilakukan dengan mengisi tabung pada benda uji per 1/3 bagian, penumbukan setiap bagian sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, dan selanjutnya uji dilakukan sampai volume penuh.
 - d. Timbang berat benda uji dalam tabung.
 - e. Menghitung volume tabung
4. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar
- Bersumber SNI-03-4804-1998, pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.
- a. Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji hingga beratnya tetap pada 110°C.
 - b. Benda uji diambil dan didinginkan selama satu hingga tiga jam. Setelah itu, ditimbang sampai ketelitian 0,5 gram.
 - c. Setelah silinder atau tabung ukur ditaruh di tempat yang datar, uji berat dilakukan di dua kondisi: volume padat dan volume gembur. Uji volume padat dan gembur dilakukan dengan mengisi tabung dengan benda uji per

1/3 bagian, penumbukan setiap bagian sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, dan selanjutnya uji dilakukan selama volume penuh.

d. Timbang berat benda uji dalam tabung.

e. Menghitung volume tabung

5. Pengujian analisa saringan agregat halus

Bersumber SNI-03-1968-1990, pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.

a. Oven dipakai sebagai pengering benda uji hingga beratnya tetap pada 110°C.

b. Bahan uji diambil dan didinginkan selama satu hingga tiga jam. Setelah itu, uji ditimbang sampai ketelitian 0,5 gram.

c. Saringan diatur dengan lubang besar di atas dan kecil di bawah. Kemudian benda uji ditaruh ke dalam saringan dan diguncang selama sepuluh hingga lima belas menit dengan tangan atau memakai mesin pengguncang.

d. Bahan uji diambil dari tiap-tiap saringan ukuran, diletakkan pada nampan yang sesuai dengan ukurannya, dan kemudian bahan uji ditimbang di setiap nampan.

6. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Bersumber SNI-03-1968-1990, pengujian analisa saringan agregat kasar dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.

a. Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji hingga beratnya tetap pada 110°C.

b. Bahan uji diambil dan didinginkan selama satu hingga tiga jam. Setelah itu, uji ditimbang sampai ketelitian 0,5 gram.

c. Saringan diatur dengan lubang besar di atas dan kecil di bawah. Kemudian benda uji ditaruh ke dalam saringan dan diguncang selama sepuluh hingga lima belas menit dengan tangan atau memakai mesin pengguncang.

d. Bahan uji diambil dari tiap-tiap saringan ukuran, diletakkan pada nampan yang sesuai dengan ukurannya, dan kemudian bahan uji ditimbang di setiap nampan.

7. Pengujian kadar lumpur agregat (lolos ayakan No. 200)

Bersumber SNI-03-4142-1996, pengujian lolos saringan No. 200 dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.

- a. Timbang nampan tanpa bahan uji.
- b. Timbang bahan uji dan masukkan ke dalam nampan.
- c. Rendam benda uji. Masukkan air pencuci dan bahan pembersih ke dalam nampan.
- d. Aduk bahan uji dalam nampan sehingga memisahkan bahan kasar dan halus lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm). Dusahakan pasir melayang di dalam larutan air pencuci untuk memudahkannya pemisahan.
- e. Menuang air pencuci dengan cepat ke saringan No. 16 (1,18 mm) dimana dibawahnya ditaruh saringan No. 200 (0,075 mm). Hati-hati agar bahan kasar tidak masuk.
- f. Agar tuangan air pencuci menjadi jelas, ulangi poin dari langkah (3), (4), dan (5).
- g. Masukkan kembali semua bahan uji yang tidak terlepas dari saringan Nomor 16 (1,18 mm) dan Nomor 200 (0,075 mm) ke dalam nampan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C. Timbang bahan sampai mencapai ketelitian maksimum 0,1% dari berat contoh.
- h. Gunakan rumus perhitungan untuk menghitung bahan yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm).

4.7.3 Pemeriksaan air

Pemeriksaan air dilakukan dan diperiksa dengan melihat mulai dari bersihnya air, suhu, tidak ada lumpur, tidak berbau, dan tidak berasa.

4.7.4 Pemeriksaan semen

Mulai dari kantong semen tertutup rapat dan ditaruh di tempat yang sudah ditentukan yang tidak kena panas matahari atau sumber lainnya, pemeriksaan semen dilakukan dan diperiksa secara visual.

4.7.5 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Setelah pengujian agregat, air, dan semen selesai, perencanaan campuran beton dapat dilakukan bersumber dari SNI-03-2834-2000. Ini akan memastikan bahwa proporsi campuran memenuhi syarat mutu yang sudah ditetapkan dengan kekuatan mutu beton rencana yaitu 25 MPa. Perhitungan perencanaan campuran beton detailnya dapat ditemukan di Bab V.

4.7.6 Pembuatan Benda Uji

Berdasarkan SNI 2493-2011, Pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium dengan prosedur tahapan penelitian sebagai berikut.

1. Persiapan Material
 - a. Agregat dikondisikan dalam kondisi *SSD (saturated surface dry)* agar dalam pekerjaan pembuatan adukan beton tidak butuh mereduksi penggunaan air.
 - b. Mengecek semen dan air yang harus disiapkan harus bersih dan tidak terjadi kerusakan, bau, dan berasa.
 - c. Untuk agregat halus dikondisikan *SSD (saturated surface dry)* dengan cara dijemur di panas sinar matahari yang sebelumnya telah didiamkan di karung dengan kondisi jenuh air selama 24 jam.
 - d. Untuk agregat kasar dikondisikan *SSD (saturated surface dry)* dengan cara didiamkan di dalam karung selama 48 sampai 72 jam yang sebelumnya sudah dibersihkan dari seluruh kotoran memakai ayakan pencuci dan air.
 - e. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan campuran beton (*mix design*) serta ditambahkan 10%-20% setiap bahan untukantisipasi bahan yang kurang akibat penempelan bahan di *mixer* dan lainnya.
2. Persiapan Alat
 - a. Semua alat dibersihkan dan disiapkan seperti sekop, ember, gerobak dorong, dan lain sebagainya agar siap digunakan nantinya.

- b. Seluruh kotoran yang berada di mesin pengaduk dibilas menggunakan air, kemudian mesin pengaduk dibiarkan hingga kondisi *SSD* (*saturated surface dry*).
 - c. Setiap cetakan sampel benda uji silinder diolesi pelumas seperti oli agar memudahkan keluar dari cetakannya saat beton sudah mengeras dan ditimbang beratnya.
3. Pencampuran Material dan Pengadukan
- a. Mesin pengaduk dihidupkan.
 - b. Dalam kondisi mesin berputar agregat halus dan agregat kasar dimasukkan saat mesin pengaduk berputar sampai tercampur rata.
 - c. Semen dimasukkan sampai agregat dan semen serta bahan tambah tercampur rata.
 - d. Air dituangkan sesuai volume yang telah direncanakan secara bertahap, kemudian pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.
 - e. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang lembab dan segera dilaksanakan pengujian *slump* bersumber dari SNI 1972-2008. Pengujian *slump* bertujuan untuk menentukan kekentalan/kelecekan beton segar agar mendapatkan nilai slump yang baik dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu beton rencana. Prosedurnya pengujiannya sebagai berikut.
 - 1) Kerucut *abrams* diletakkan terlebih dahulu di atas permukaan yang lembab, datar, kaku, dan tidak menyerap air. Selama pengisian beton, harus memastikan bahwa cetakan ditahan dengan kokoh di bagian injakan cetakan.
 - 2) Setiap lapisan kerucut abram memiliki volume sepertiga dari cetakan.
 - 3) Batang penusuk digunakan untuk memadatkan setiap lapisan dengan dua puluh lima tusukan. Penusukan dilakukan secara miring di bagian bawah kerucut abram dan secara merata di setiap lapisan. Hindari pelat dasar cetakan dari batang penusuk.
 - 4) Lapisan atas yang penuh dengan adukan beton segar, yang kemudian ditusuk dua puluh lima kali.

- 5) Dengan menggelindingkan batang penumbuk di atasnya, permukaan beton baru di atas kerucut diratakan.
 - 6) Kerucut dilepaskan segera dari beton baru dan mengangkatnya secara perlahan ke arah vertikal. Angkat cetakan tanpa bergerak ke sisi atau ke belakang. Pengujian *slump* dilakukan dalam waktu kurang dari dua setengah menit.
 - 7) Setelah beton menunjukkan penurunan permukaannya, tingginya diukur dengan membandingkan tinggi kerucut dan dicatat hasilnya.
- f. Beton segera ditaruh ke dalam cetakan silinder yang telah disiapkan setelah nilai *slump* sesuai dengan rencana. Beton dipenuhi setiap sepertiga bagian, kemudian ditumbuk secara rata setiap bagian sebanyak 25 kali, dan dinding cetakan dipukul dengan palu karet untuk memastikan tidak ada rongga udara.

4. Pencetakan

- a. Beton segera ditaruh ke dalam cetakan silinder yang telah disiapkan setelah nilai *slump* memenuhi rencana.
- b. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan juga dipukul-pukul bagian dinding cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat sehingga tidak memiliki rongga udara.
- c. Permukaan beton diratakan dengan mistar perata dan diberi tanda setiap cetakannya.
- d. Setelah itu, cetakan silinder yang berisi campuran beton ditaruh di dalam ruangan selama dua puluh empat jam.
- e. Beton yang sudah keras dikeluarkan dari cetakan silinder dengan menggunakan kunci dan ditulis kode pada sampel benda uji yang sudah ditentukan kodenya, Selanjutnya dimasukkan ke dalam bak air untuk proses perawatan beton.

4.7.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan sampel dilakukan setelah beton segar keras. Setelah itu, beton dikeluarkan dari cetakan dan di rendam. Sampel benda uji diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia satu hari sebelum pengujian dan dikeringkan selama 24 jam. Proses perendaman dilakukan dengan merendam sampel benda uji pada air selama 28 hari.

4.7.8 Pengujian Benda Uji

1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Bersumber dari SNI 1974-2011, pengujian dilakukan dengan sampel benda silinder dengan beberapa poin sebagai berikut.

- a. Menyediakan beton silinder yang dikeluarkan dari perawatan beton sebagai benda uji.
- b. Ukur dimensi, tinggi, dan berat benda uji.
- c. Menaruh benda uji ke kedudukan mesin tekan dan pastikan dial beban menunjukkan angka 0. Jika tidak, lakukan pengaturan dial sebelum melakukan pengujian.
- d. Mulai pengujian dengan memberikan pembebanan dengan kecepatan konstan hingga benda uji hancur.
- e. Catat beban tertinggi yang dapat diterima oleh benda uji.

2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Bersumber dari SNI-03-2491-2002, pengujian dilakukan dengan sampel benda silinder dengan beberapa poin sebagai berikut.

- a. Timbang dan ukur tinggi serta diameter benda uji.
- b. Alat bantu digunakan untuk menandai benda uji dengan membuat garis tengah di setiap sisi ujungnya. Kedua garis tengah harus terletak di bidang aksial.
- c. Jika batang atau pelat penekan tambahan diperlukan, mereka ditaruh secara simetris di bagian bawah mesin uji tekan.
- d. Di bagian tengah mesin, salah satu dari dua bantalan bantu pembebanan diletakkan di atas meja tekan bagian bawah. Jika memakai bantalan bantu pembebanan ditaruh di atasnya pelat penekan.

- e. Benda uji ditaruh di atas bantalan bantu pembebanan dengan tanda garis tengah di tengah bantalan bantu pembebanan.
 - f. Jika benda uji menggunakan pelat penekan tambahan, bantalan bantu pembebanan kedua ditaruh di atasnya di titik tengah, bantalan bantu pembebanan berpotongan dengan garis tengah benda uji di bagian ujung silinder.
 - g. Posisi pengujian disesuaikan sampai dalam keadaan berikut.
 - 1) Bagian atas meja penekan mesin uji memiliki titik tengah yang diberi tanda garis tengah di kedua ujung benda uji.
 - 2) Jika pengujian menggunakan pelat penekan tambahan, titik tengah benda uji dan pelat harus tepat di bawah titik tengah meja penekan di bagian atas mesin uji.
 - h. Mesin tekan bekerja dengan beban terus menerus. Beban diberikan dengan kecepatan konstan hingga benda uji hancur.
3. Pengujian Modulus Elastisitas Beton
- Bersumber dari SNI-03-4169-1996, Pengujian ini bersama dengan kuat tekan beton, karena kedua pengujian ini saling berkaitan. Pengujian dilakukan dengan beberapa poin sebagai berikut.
- a. Persiapan seluruh beton uji yang akan diuji dan peralatannya.
 - b. Ukur berat, diameter, dan tinggi benda uji dengan timbangan dan kaliper.
 - c. Pasang alat pengukur ekstensometer deformasi pada benda uji.
 - d. Masukkan benda uji ke dalam mesin uji tekan, lalu tekan perlahan dengan mesin uji hidrolik.
 - e. Lakukan pembacaan dan catatan deformasi setiap peningkatan beban 10 kN. Pembacaan selesai Ketika benda uji runtuh atau hancur.
 - f. Lakukan pembacaan beban maksimum.

4.7.9 Analisis Pengolahan Data dan Pembahasan

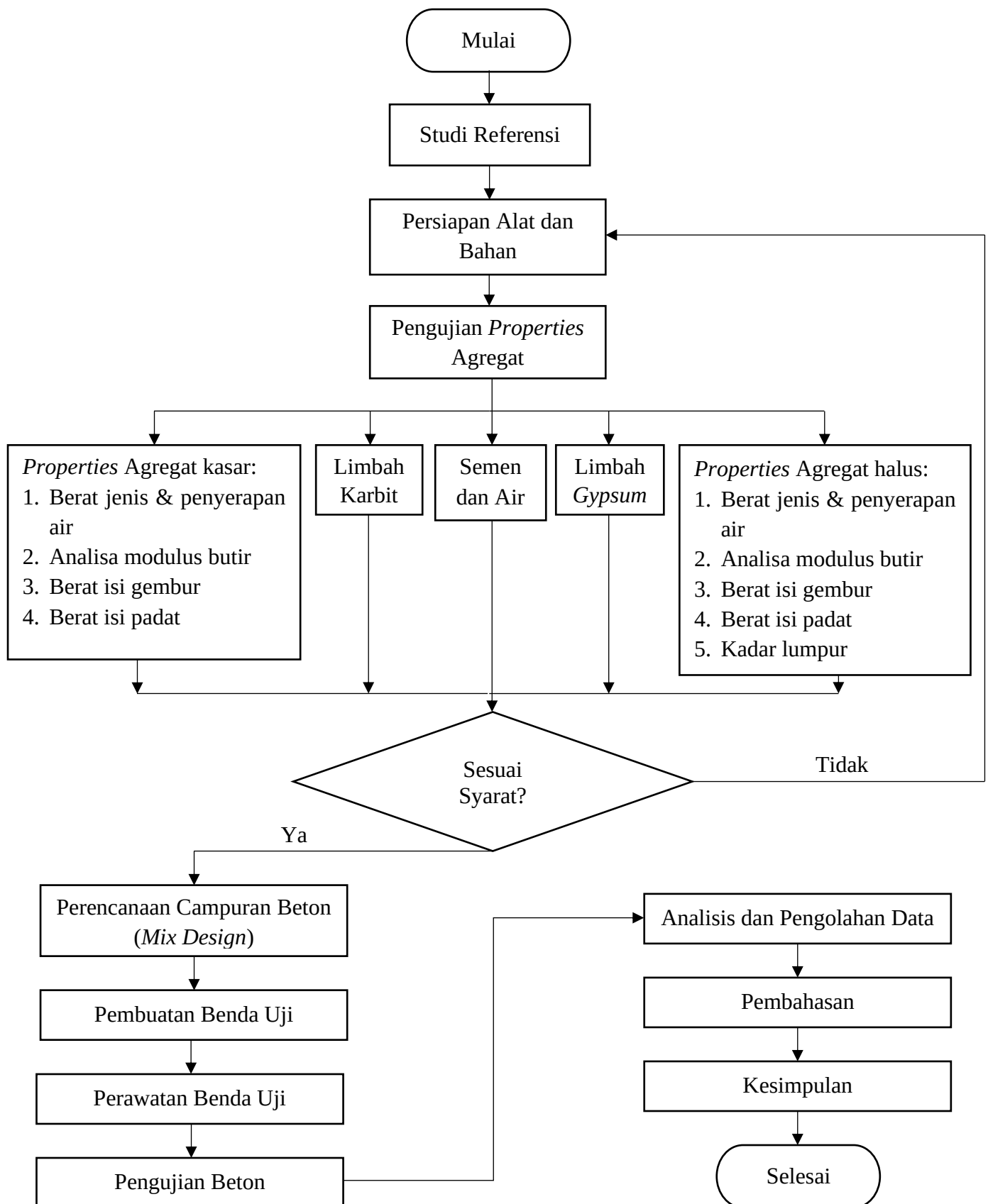
Kode sampel benda uji digunakan untuk menganalisis data kasar pengujian, yang kemudian disesuaikan dengan landasan teori untuk menemukan hubungan atau parameter penting. Perlunya dilakukan olah data adalah untuk memperoleh parameter yang bermakna dan nantinya bisa dijadikan pembahasan serta bisa ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Sebagai variabel bebas yaitu karbit, dan *gypsum* sebagai variabel terikat, sifat mekanis beton digunakan untuk menganalisis dan mengolah data. Nanti akan ada kesimpulan yang dapat dibuat dari hasil analisis dan pengolahan data dari parameter antar variabel tersebut. Kesimpulan ini akan menjawab rumusan masalah dari penelitian.

4.7.10 Kesimpulan dan Saran

Pada bagian akhir hasil temuan (analisis) pengolahan data dan pembahasan dibentuk dalam grafik sehingga nantinya mengetahui perbedaan pengaruh dengan adanya penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen dengan beton normal. Nanti kita dapat membuat kesimpulan tentang tujuan utama penelitian ini dan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya berdasarkan hasil analisis pengolahan data tersebut.

4.8 Langkah-langkah Bagan Alur Penelitian

Gambar 4.23 dan Tabel 4.2 menunjukkan *flowchart* atau tabel yang menggambarkan Tugas Akhir sebagai berikut.



Gambar 4.23 Bagan Alur Tahapan Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian *Properties Agregat*

Pengujian agregat melibatkan agregat halus (pasir merapi) dan agregat kasar (kerikil progo). Tujuannya ialah untuk mengetahui, melihat, dan memeriksa sifat dan ciri agregat yang digunakan sebagai penyusun beton. Berikut adalah beberapa hasil dari pengujian *properties agregat*.

5.1.1 Pengujian *Properties Agregat Halus*

Uji agregat halus mencakup beberapa tes, termasuk analisis saringan, berat volume, berat jenis, dan penyerapan air; dan lolos saringan No. 200, yang mengukur kadar lumpur. Selanjutnya, hasil pengujian agregat pasir merapi akan digunakan sebagai penentu proporsi campuran beton. Hasil pemeriksaan dan pengujian agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Bersumber dari SNI-03-1970-1990, berat jenis dan penyerapan air agregat halus diuji. Tujuannya adalah untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus yang digunakan dalam perencanaan campuran. Perhitungan untuk sampel 1 dijabarkan berikut ini.

a. Berat Jenis Curah (*Bulk*)

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Curah (Bulk)} &= \frac{Bk}{B + 500 - Bt} \\ &= \frac{494}{665 + 500 - 977} \\ &= 2,628\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Kering Permukaan (*SSD*)

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis SSD} &= \frac{500}{B + 500 - Bt} \\ &= \frac{500}{665 + 500 - 977} \\ &= 2,660\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu (*Apparent*)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Semu (Apparent)} &= \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \\
 &= \frac{494}{665 + 494 - 977} \\
 &= 2,714
 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air (*Absorption*)

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air (Absorption)} &= \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 494}{494} \times 100\% \\
 &= 1,215 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan di sampel 1. Rekapitulasi dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dari pasir merapi untuk sampel 1 dan 2 bisa dilihat di Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	494	493	493,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	977	981	979
Berat piknometer berisi air, gram (B)	665	672	668,5
Berat jenis curah (<i>bulk</i>), gram	2,628	2,581	2,604
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), gram	2,660	2,618	2,639
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>), gram	2,714	2,679	2,697
Penyerapan air (<i>Absorption</i>), %	1,215 %	1,420 %	1,317 %

Hasil pengujian menunjukkan bahwasannya berat jenis agregat halus pasir merapi rerata yaitu 2,639 dan penyerapan air yaitu 1,317 % sudah sesuai sumber dari SNI-03-1970-1990 yang menetapkan nilai berat jenis agregat

halus antara 1,6 - 3,3, dan nilai penyerapan air agregat halus antara 0,2% - 2%.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Bersumber dari SNI-03-1968-1990, pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan dengan sampel 2000 gram. Tujuannya ialah untuk mengetahui modulus halus butir agregat halus pada setiap nomor saringan dan sebagai penentu gradasi agregat halus yang digunakan untuk perencanaan campuran. Perhitungan untuk pengujian sampel 1 akan dijabarkan berikut ini.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 4,8 mm} &= \frac{13}{1999} \times 100\% \\ &= 0,650 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 2,4 mm} &= \frac{211}{1999} \times 100\% \\ &= 10,555 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 1,2 mm} &= \frac{533}{1999} \times 100\% \\ &= 26,663 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 0,6 mm} &= \frac{468}{1999} \times 100\% \\ &= 23,412 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 0,3 mm} &= \frac{342}{1999} \times 100\% \\ &= 17,109 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 0,15 mm} &= \frac{247}{1999} \times 100\% \\ &= 12,356 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{185}{1999} \times 100\% \\ &= 9,255 \% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan No. 4,8 mm} = 0,650 \%$$

Saringan No. 2,4 mm	= 0,650 % + 10,555 % = 11,206 %
Saringan No. 1,2 mm	= 11,206 % + 26,663 % = 37,869 %
Saringan No. 0,6 mm	= 37,869 % + 23,412 % = 61,281 %
Saringan No. 0,3 mm	= 61,281 % + 17,109 % = 78,389 %
Saringan No. 0,15 mm	= 78,389 % + 12,356 % = 90,745 %
Pan	= 90,745 % + 9,255 % = 100 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

Saringan No. 4,8 mm	= 100 % - 0,650 % = 99,350 %
Saringan No. 2,4 mm	= 100 % - 11,206 % = 88,794 %
Saringan No. 1,2 mm	= 100 % - 37,869 % = 62,131 %
Saringan No. 0,6 mm	= 100 % - 61,281 % = 38,719 %
Saringan No. 0,3 mm	= 100 % - 78,389 % = 21,611 %
Saringan No. 0,15 mm	= 100 % - 90,745 % = 9,255 %
Pan	= 100 % - 100 % = 0 %

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan untuk sampel 1. Rekapitulasi dari analisis saringan agregat halus yang terdiri dari pasir merapi untuk sampel 1 dan sampel 2 bisa dilihat di Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

No Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	13	0,650	0,650	99,350
2,4	211	10,555	11,206	88,794
1,2	533	26,663	37,869	62,131
0,6	468	23,412	61,281	38,719
0,3	342	17,109	78,389	21,611
0,15	247	12,356	90,745	9,255
Pan	185	9,255	100	0
Jumlah	1999	100	280,140	

Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

No Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	12	0,601	0,601	99,399
2,4	239	11,962	12,563	87,437

**Lanjutan Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
Sampel 2**

No Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1,2	507	25,375	37,938	62,062
0,6	430	21,522	59,459	40,541
0,3	312	15,616	75,075	24,925
0,15	302	15,115	90,190	9,810
Pan	196	9,810	100	0
Jumlah	1998	100	275,826	

Nilai Modulus Halus Butir dapat dicari dengan menggunakan data yang diperoleh dari rekapitulasi sebelumnya Tabel 5.2 dan 5.3 tentang pengujian analisis saringan agregat halus untuk pasir merapi sampel 1 dan sampel 2. Nilai modulus halus butir akan dijabarkan berikut ini.

d. Modulus Halus Butir Agregat Halus (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase Berat Tertinggal}}{100} \\
 \text{MHB Sampel 1} &= \frac{280,140}{100} \\
 &= 2,801 \\
 \text{MHB Sampel 2} &= \frac{275,826}{100} \\
 &= 2,758 \\
 \text{MHB Rerata} &= \frac{2,801 + 2,758}{2} \\
 &= 2,780
 \end{aligned}$$

Nilai (MHB) rerata untuk sampel 1 dan 2 adalah 2,780, yang memenuhi persyaratan yang diizinkan yang sumber dari SNI-03-1968-1990, yaitu 1,5 - 3,8. Hasil analisis saringan agregat halus pada sampel 1 dan sampel 2 dipakai sebagai penentu gradasi agregat halus, yang diatur dalam tabel gradasi

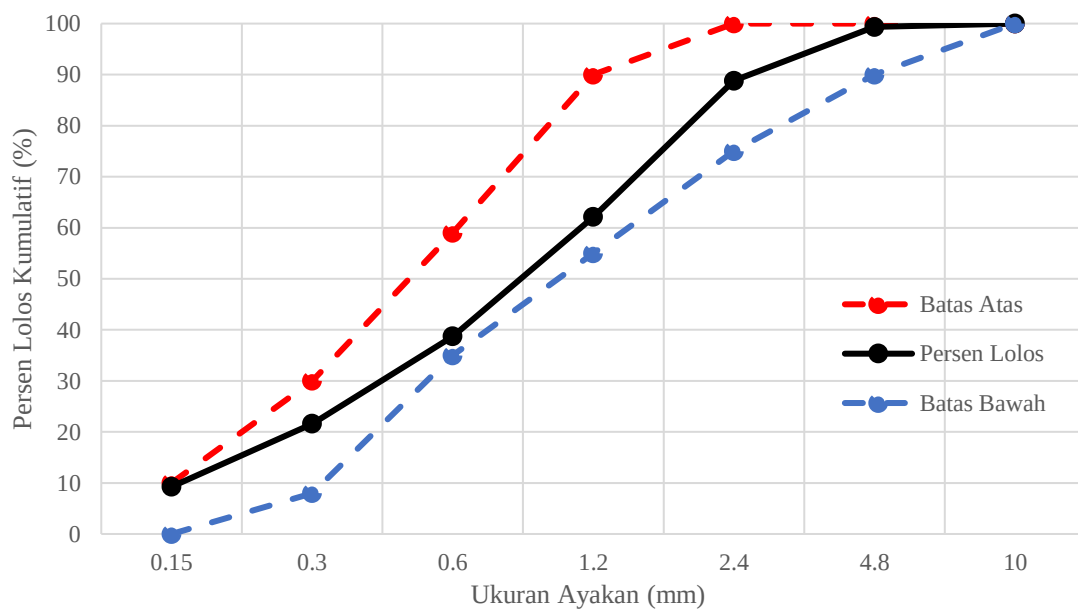
agregat halus yang bersumber dari SNI-03-2834-2000, yang bisa dilihat di Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus

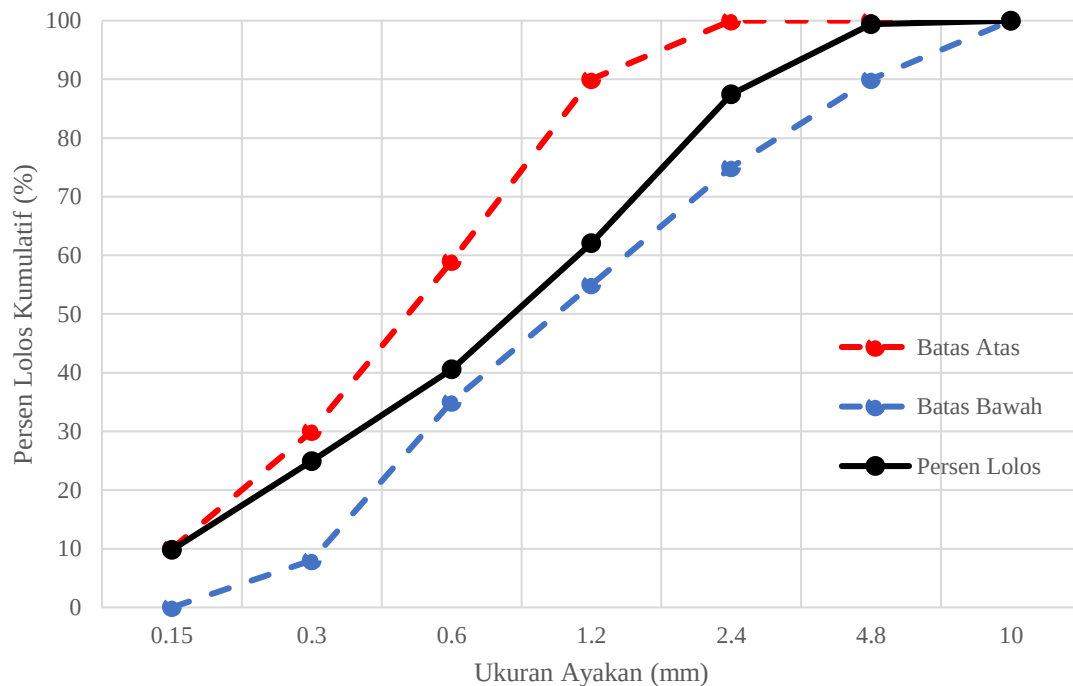
No Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	Gradasi I	Gradasi II	Gradasi III	Gradasi IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Sumber: SNI-03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.4 sebelumnya, maka didapatkan gradasi agregat halus dan hasil analisa saringan agregat halus pada sampel 1 dan sampel 2 yakni pasir merapi yang dipakai masuk ke dalam daerah II dan merupakan pasir agak kasar maksimal ukuran 20 mm. Adapun hasil grafik gradasi daerah II agregat halus bisa dilihat di Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Daerah Gradasi II Agregat Halus Sampel 1



. Gambar 5.2 Grafik Daerah Gradasi II Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Bersumber dari SNI-03-4804-1998, pengujian berat volume agregat halus dilakukan dalam dua tahap yaitu berat volume gembur dan berat volume padat. Perhitungan untuk pengujian berat volume agregat halus pada sampel 1 akan dijabarkan berikut ini.

a. Berat Volume Gembur Agregat Halus

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19670 - 19702 \\
 &= 8338 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\
 &= 5283,707 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8338}{5283,707}
 \end{aligned}$$

$$= 1,578 \text{ gram/cm}^3$$

b. Berat Volume Padat Agregat Halus

$$\text{Berat Agregat (W}_3\text{)} = W_2 - W_1$$

$$= 21018 - 11332$$

$$= 9686 \text{ gram}$$

$$\text{Volume Tabung (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1$$

$$= 5283,707 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W_3}{V}$$

$$= \frac{9686}{5283,707}$$

$$= 1,833 \text{ gram/cm}^3$$

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan untuk sampel 1. Rekapitulasi dari berat volume gembur dan padat agregat halus pasir merapi dari sampel 1 dan sampel 2 bisa dilihat di Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,10	30,10	30,10
Berat cetakan, gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	19670	19702	19686
Berat cetakan, gram (W ₃)	8338	8335	8336,5
Volume cetakan, gram (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,578	1,577	1,578

Tabel 5.6 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,10	30,10	30,10
Berat cetakan, gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	21018	21092	21055
Berat cetakan, gram (W ₃)	9686	9725	9705,5
Volume cetakan, gram (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat volume padat, gram/cm ³	1,833	1,841	1,837

Menurut hasil rekapitulasi sebelumnya dari Tabel 5.5 dan Tabel 5.6, berat volume gembur agregat halus pasir merapi rerata yakni 1,578 gram/cm³, dan berat volume padat agregat halus pasir merapi rerata yakni 1,837 gram/cm³. Hasil tersebut sesuai persyaratan dari SNI-03-4804-1998, yaitu rentang 1,4 - 1,9.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur Agregat Halus)

Pengujian lolos saringan No. 200, juga dikenal sebagai pengujian kadar lumpur, pada agregat pasir halus bersumber dari SNI-03-4142-1996. Perhitungan untuk pengujian lolos saringan No. 200 untuk sampel 1 dan 2 akan dijabarkan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Kadar lumpur dalam pasir sampel 1} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 485}{500} \times 100\% \\
 &= 3 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Kadar lumpur dalam pasir sampel 2} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 487}{500} \times 100\% \\
 &= 2,60 \%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi dari pengujian lolos saringan No. 200 pada agregat halus yang terdiri dari pasir merapi sampel 1 dan sampel 2 bisa dilihat di Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Berat agregat kering oven, cm (W_1)	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci, cm (W_2)	485	487	486
Persen lolos ayakan No. 200, %	3 %	2,60 %	2,80 %

Berdasarkan hasil rekapitulasi Tabel 5.7 sebelumnya, maka didapatkan uji lolos saringan No. 200 sampel 1 dan sampel 2 berupa pasir merapi rerata sebesar 2,80 %. Hasil tersebut sudah memenuhi syarat sesuai spesifikasi SNI-03-4142-1996 yakni maksimal sebesar 5 %.

5.1.2 Pengujian *Properties* Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar meliputi pengujian berat jenis, penyerapan air, berat volume, dan analisis saringan. Hasil *properties* agregat kasar berupa kerikil progo akan dipakai sebagai penentu proporsi campuran beton. Hasil pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Bersumber dari SNI-03-1969-1990, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan. Tujuannya adalah untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang digunakan dalam perancangan campuran. Perhitungan untuk sampel 1 akan dijabarkan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah (*Bulk*)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Curah (Bulk)} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\
 &= \frac{4926}{5000 - 3082} \\
 &= 2,568
 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis SSD} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3082} \\
 &= 2,607
 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu (*Apparent*)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Semu (Apparent)} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\
 &= \frac{4926}{4926 - 3082} \\
 &= 2,671
 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air (*Absorption*)

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air (Absorption)} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4926}{4926} \times 100\% \\
 &= 1,502 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan untuk sampel 1. Rekapitulasi dari berat jenis dan penyerapan agregat kasar pasir merapi dari sampel 1 dan sampel 2 bisa dilihat di Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4926	4920	4923
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082	3072	3077
Berat jenis curah (<i>bulk</i>), gram	2,568	2,552	2,560
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), gram	2,607	2,593	2,600
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>), gram	2,671	2,662	2,667

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Penyerapan air (<i>Absorption</i>), %	1,502 %	1,626 %	1,564 %

Bersumber dari SNI-03-1969-1990, nilai berat jenis agregat kasar ditetapkan pada rentang 1,6 - 3,3, dan nilai penyerapan air agregat halus ditetapkan rentang 0,2% - 2%, dari perhitungan dan rekapitulasi Tabel 5.8 sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis agregat kasar rerata yaitu 2,600 dan penyerapan air yaitu 1,564% telah memenuhi spesifikasi.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Bersumber dari SNI-03-1968-1990, pengujian analisis saringan agregat kasar dilakukan dengan sampel 5000 gram. Tujuannya ialah untuk mengetahui modulus halus butir di setiap nomor saringan dan sebagai penentu daerah gradasi agregat kasar yang dipakai untuk perancangan campuran. Perhitungan untuk pengujian sampel 1 akan dijabarkan berikut ini.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 40 mm} &= \frac{0}{5001} \times 100\% \\ &= 0 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 20 mm} &= \frac{37}{5001} \times 100\% \\ &= 0,740 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 10 mm} &= \frac{3606}{5001} \times 100\% \\ &= 72,106 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 4,8 mm} &= \frac{1293}{5001} \times 100\% \\ &= 25,855 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan No. 2,4 mm} &= \frac{30}{5001} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 0,600 \%$$

$$\text{Saringan No. 1,2 mm} = \frac{5}{5001} \times 100\%$$

$$= 0,100 \%$$

$$\text{Pan} = \frac{30}{5001} \times 100\%$$

$$= 0,600 \%$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan No. 40 mm} = 0 \%$$

$$\text{Saringan No. 20 mm} = 0 \% + 0,740 \%$$

$$= 0,740 \%$$

$$\text{Saringan No. 10 mm} = 0,740 \% + 72,106 \%$$

$$= 72,845 \%$$

$$\text{Saringan No. 4,8 mm} = 72,845 \% + 25,855 \%$$

$$= 98,700 \%$$

$$\text{Saringan No. 2,4 mm} = 98,700 \% + 0,600 \%$$

$$= 99,300 \%$$

$$\text{Saringan No. 1,2 mm} = 99,300 \% + 0,100 \%$$

$$= 99,400 \%$$

$$\text{Pan} = 99,400 \% + 0,600 \%$$

$$= 100 \%$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\text{Saringan No. 40 mm} = 100 \% - 0 \%$$

$$= 100 \%$$

$$\text{Saringan No. 20 mm} = 100 \% - 0,740 \%$$

$$= 99,260 \%$$

$$\text{Saringan No. 10 mm} = 100 \% - 72,845 \%$$

$$= 27,155 \%$$

$$\text{Saringan No. 4,8 mm} = 100 \% - 98,700 \%$$

$$= 1,300 \%$$

$$\text{Saringan No. 2,4 mm} = 100 \% - 99,300 \%$$

$$= 0,700 \%$$

Saringan No. 1,2 mm	= 100 % - 99,400 %
	= 0,600 %
Pan	= 100 % - 100 %
	= 0 %

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan untuk sampel 1. Rekapitulasi dari analisis saringan agregat kasar untuk kerikil progo sampel 1 dan sampel 2 disajikan di Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

No Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	37	0,740	0,740	99,260
10	3606	72,106	72,845	27,155
4,8	1293	25,855	98,700	1,300
2,4	30	0,600	99,300	0,700
1,2	5	0,100	99,400	0,600
0,6	0	0	99,400	0,600
0,3	0	0	99,400	0,600
0,15	0	0	99,400	0,600
Pan	30	0,600	100	0
Jumlah	5001	100	669,186	

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

No Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	21	0,419	0,419	99,581
10	3676	73,388	73,807	26,193
4,8	1234	24,636	98,443	1,557
2,4	17	0,339	98,782	1,218
1,2	4	0,080	98,862	1,138
0,6	0	0	98,862	1,138
0,3	0	0	98,862	1,138
0,15	0	0	98,862	1,138
Pan	57	1,138	100	0
Jumlah	5009	100	666,900	

Nilai modulus halus butir dapat dihitung berdasarkan hasil rekapitulasi sebelumnya di Tabel 5.9 dan 5.10 tentang pengujian analisis saringan agregat kasar untuk kerikil progo sampel 1 dan sampel 2. Nilai modulus halus butir akan dijabarkan sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir Agregat Kasar (MHB)

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

$$\text{MHB Sampel 1} = \frac{669,186}{100}$$

$$= 6,692$$

$$\text{MHB Sampel 2} = \frac{666,900}{100}$$

$$= 6,669$$

$$\text{MHB Rata-Rata} = \frac{6,692 + 6,669}{2}$$

$$= 6,680$$

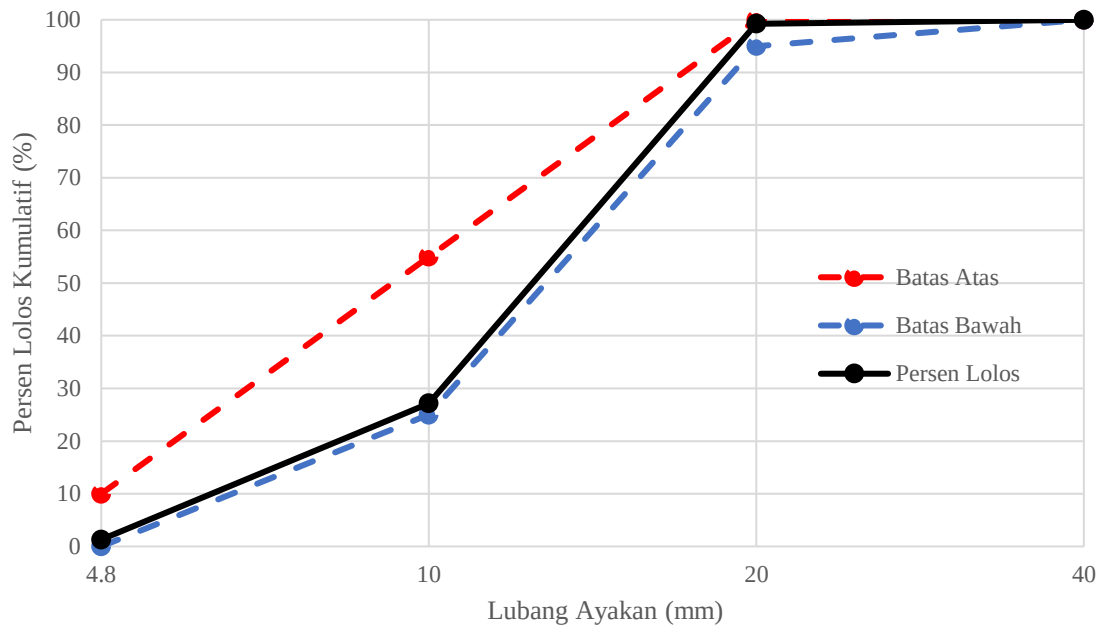
Nilai (MHB) rerata untuk sampel 1 dan 2 adalah 6,680, yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan bersumber dari SNI-03-1968-1990, yaitu rentang 6,0 - 7,1. Hasil analisis saringan agregat kasar dari kerikil progo dipakai sebagai penentu gradasi agregat kasar, yang diatur dalam tabel gradasi yang dibuat sesuai dengan SNI-03-2834-2000, yang bisa dilihat di Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar

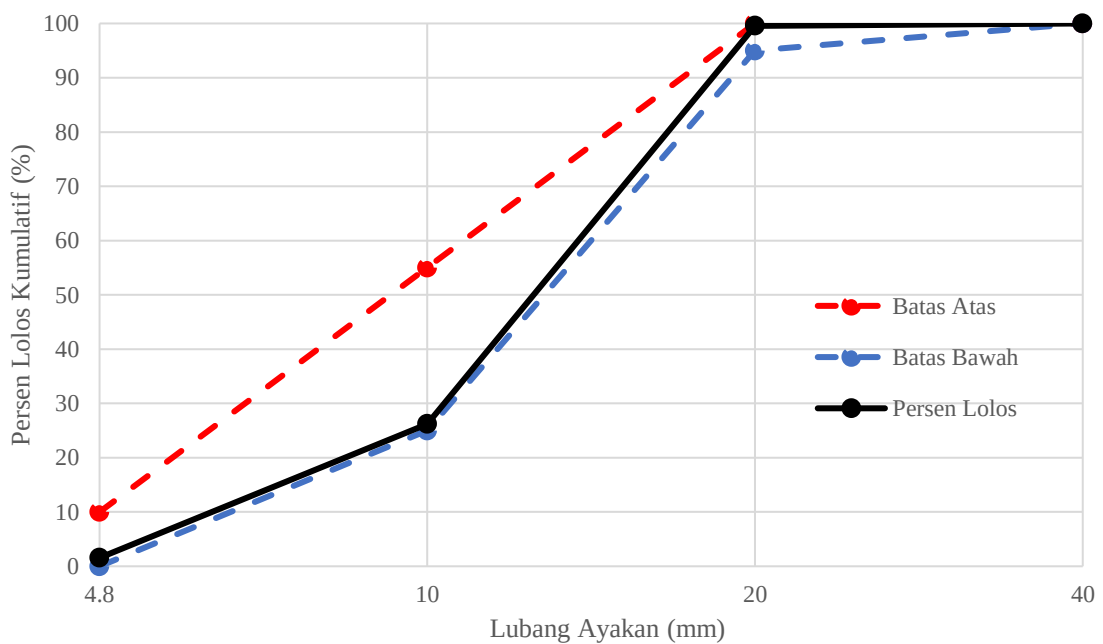
No ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lolos ayakan (%)		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	Maks 40 mm	Maks 20 mm	Maks 10 mm
38,10	100 - 95	100	-
19,0	70 - 37	100 - 95	100
9,5	40 - 10	60 - 30	85 - 50
4,8	5 - 0	10 - 0	10 - 0

Sumber: SNI-03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 5.11 sebelumnya, gradasi agregat kasar diperoleh, dan hasil analisis saringan agregat kasar pada sampel 1 dan 2 berupa kerikil progo yang akan digunakan masuk ke dalam ukuran gradasi butiran maksimal 20 mm digambarkan pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Bersumber dari SNI-03-4804-1998, pengujian berat volume agregat kasar dilakukan dalam dua tahap yaitu berat volume gembur dan berat volume

padat. Perhitungan untuk pengujian berat volume agregat kasar pada sampel 1 akan dijabarkan berikut ini.

a. Berat Volume Gembur Agregat Kasar

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 17898 - 11332 \\
 &= 6566 \text{ gram} \\
 \\
 \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,463 \text{ cm}^3 \\
 \\
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6566}{5285,463} \\
 &= 1,242 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat Agregat Kasar

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18947 - 11332 \\
 &= 7615 \text{ gram} \\
 \\
 \text{Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,463 \text{ cm}^3 \\
 \\
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7615}{5285,463} \\
 &= 1,441 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama untuk sampel 2 juga, seperti yang dilakukan untuk sampel 1. Rekapitulasi dari berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar dari kerikil progo ditunjukkan di Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,11	30,11	30,11
Berat cetakan, gram (W_1)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W_2)	17898	18102	18000
Berat agregat, gram (W_3)	6566	6735	6650,5
Volume cetakan, gram (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,242	1,274	1,258

Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pemeriksaan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rerata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,11	30,11	30,11
Berat cetakan, gram (W_1)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W_2)	18947	18979	18963
Berat agregat, gram (W_3)	7615	7612	7613,5
Volume cetakan, gram (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat volume padat, gram/cm ³	1,441	1,440	1,440

Menurut hasil rekapitulasi sebelumnya di Tabel 5.12 dan Tabel 5.13, didapatkan berat volume gembur agregat kasar kerikil progo rerata yaitu 1,258 gram/cm³ dan berat volume padat agregat kasar kerikil progo rerata yaitu 1,440 gram/cm³. Hasil tersebut sudah memenuhi syarat untuk rentang 1,2 - 1,6 yang diusulkan oleh Tjokrodinuljo (1996).

5.2 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton (*mix design*) bersumber pada SNI-03-2834-2000, dan tahapan serta perhitungan rancangan campuran sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) sebesar 25 MPa yang benda ujinya berbentuk silinder.
2. Semen yang dipergunakan ialah *portland cement composite* (PCC) tipe I dengan merek Tiga Roda.
3. Agregat halus yang dipergunakan ialah pasir Merapi dari Cangkringan, Sleman dan Agregat kasar yang dipergunakan ialah kerikil dari Clereng, Kulon Progo.
4. Hasil pengujian sifat agregat menunjukkan berat jenis agregat halus 2,639 dan berat jenis agregat kasar 2,600.
5. Hasil analisis saringan agregat kasar menunjukkan bahwasannya ukuran agregat kasar terbesar ialah maksimal 20 mm.
6. Hasil analisis saringan agregat halus menunjukkan bahwa susunannya masuk ke dalam gradasi daerah II.
7. Oleh karena peneliti belum memiliki pengalaman sebelumnya, nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan sebelumnya ditunjukkan dalam Tabel 3.6 ialah 7 (jelek), dan faktor pengali untuk deviasi standar sebelumnya ditunjukkan sebagai 12 Mpa.
8. Penetapan nilai tambah dicari dari Persamaan 3.1 sebagai berikut.

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

$$M = 1,64 \times 7$$

$$M = 11,48 \text{ MPa} = 12 \text{ MPa}$$

Keterangan:

M = Nilai tambah

Sd = Standar deviasi (MPa)

9. Nilai kuat tekan beton rerata yang ditarget dicari dari Persamaan 3.2 sebagai berikut.

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

$$f'_{cr} = 25 + 12 \text{ Mpa}$$

$$f'_{cr} = 37 \text{ MPa}$$

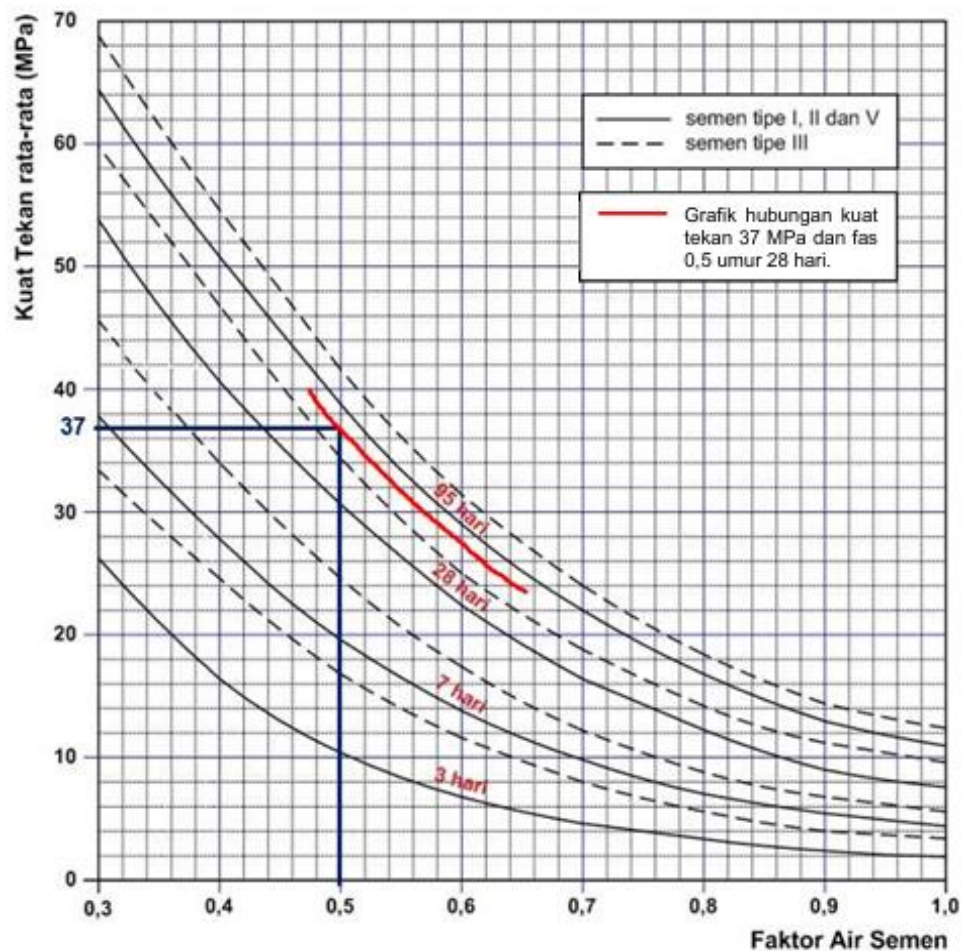
Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan rerata rencana (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

M = Nilai tambah

10. Penetapan fas ditetapkan di Tabel 3.8 sebelumnya.
 - a. Tabel 3.8 sebelumnya menunjukkan bahwa semen tipe I, benda uji silinder, dan kuat tekan di umur 28 hari didapatkan fas 0,5, dengan perkiraan kuat tekan beton yakni 37 MPa. Kaitannya antara kuat tekan dan fas ditunjukkan di Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan FAS (Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)

Sumber: SNI-03-2834-2000

- b. Pada Gambar 5.5 sebelumnya, garis vertikal ditarik ke atas dari nilai fas yaitu 0,5 dan garis horizontal ditarik ke kanan dari nilai kuat tekan rerata yakni 37 MPa yang ditemukan dalam Tabel 3.8 sebelumnya. Dengan demikian, dibuat kurva tambahan, atau garis bantu, yang memotong titik perpotongan untuk mendapatkan nilai fas sebesar 0,5.
11. Penetapan semen minimum dan fas dihitung berdasarkan Tabel 3.9 sebelumnya, Diambil nilai total semen minimum 275 kg/m^3 dan nilai fas maksimum 0,60.
12. Berdasarkan Tabel 3.10 sebelumnya, menetapkan kadar air yang diperlukan untuk campuran beton.
- Hasil uji sifat analisis agregat memperlihatkan bahwasannya ukuran butir agregat paling besar ialah maksimum 20 mm.
 - Agregat kasar, yang dikenal sebagai batu pecah, dan agregat halus, yang dikenal sebagai batu tak dipecahkan, merupakan dua jenis batuan.
 - Nilai *slump* yang dipakai yakni $10 \pm 2 \text{ cm}$, yang menempatkan *slump* antara 60 dan 180 mm.
 - Kadar air bebas yang dibutuhkan berdasarkan Tabel 3.10 sebelumnya yakni pasir sebesar 195 kg/m^3 dan kerikil sebesar 225 kg/m^3 . Persamaan 3.3 berikut digunakan untuk menghitung kadar air bebas.

$$W = \frac{2}{3} Wh + \frac{2}{3} Wk \quad (3.3)$$

$$W = \frac{2}{3} 195 + \frac{2}{3} 225$$

$$W = 205 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan:

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

Wh = Asumsi kadar air agregat halus (kg/m^3)

Wk = Asumsi kadar air agregat halus (kg/m^3)

13. Hasil sebelumnya digunakan untuk menghitung dan menetapkan total kadar semen per m^3 beton dari persamaan 3.4

$$C = \frac{W}{FAS} \quad (3.4)$$

$$C = \frac{205}{0,5}$$

$$C = 410 \text{ kg/m}^3$$

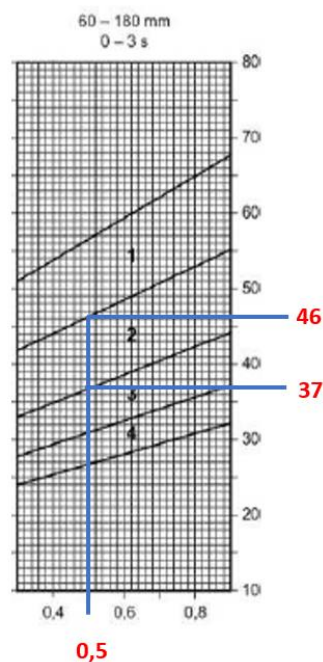
Keterangan:

C = Total kadar semen (Kg/m^3)

W = Kadar air bebas (Kg/m^3)

Fas = Faktor air semen

14. Menetapkan persen agregat kasar dan agregat halus ditunjukkan di Gambar 5.6 berikut.
 - a. Agregat dengan nilai fas 0,5 dan gradasi II agregat halus yang digunakan, dengan *slump* yang direncanakan antara 60 dan 180 mm. Ukuran agregat maksimum dipakai yakni 20 mm.
 - b. Potongan dua kurva garis yang membatasi daerah gradasi II dengan menarik garis vertikal ke atas dari nilai fas 0,5.



Gambar 5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

Sumber: SNI-03-2834-2000

- c. Pada gradasi II, persentase batas bawah yaitu 37% dan batas atas yaitu 46% didapat dari dua titik perpotongan pada butir sebelumnya.

- d. Nilai persen agregat halus dapat ditetapkan dan dihitung dari pemakaian Persamaan 3.5 berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persen Agregat Halus} &= \frac{\text{Batas Atas} + \text{Batas Bawah}}{2} & (3.5) \\
 &= \frac{46\% + 37\%}{2} \\
 &= 41,50 \%
 \end{aligned}$$

- e. Nilai persen agregat kasar dapat ditetapkan dan dihitung dari pemakaian Persamaan 3.6 berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persen Agregat Kasar} &= 100\% - \% \text{ Agregat Halus} & (3.6) \\
 &= 100\% - 41,50\% \\
 &= 58,50 \%
 \end{aligned}$$

15. Penetapan berat jenis gabungan agregat dicari dari Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BJ_{gab} &= (\%Ag.Halus \times BJ_{ag,halus}) + (\%Ag.Kasar \times BJ_{ag,kasar}) & (3.7) \\
 &= (41,50\% \times 2,639) + (58,50\% \times 2,600) \\
 &= 2,616
 \end{aligned}$$

Keterangan:

BJ_{gab} = Berat jenis gabungan/relatif agregat

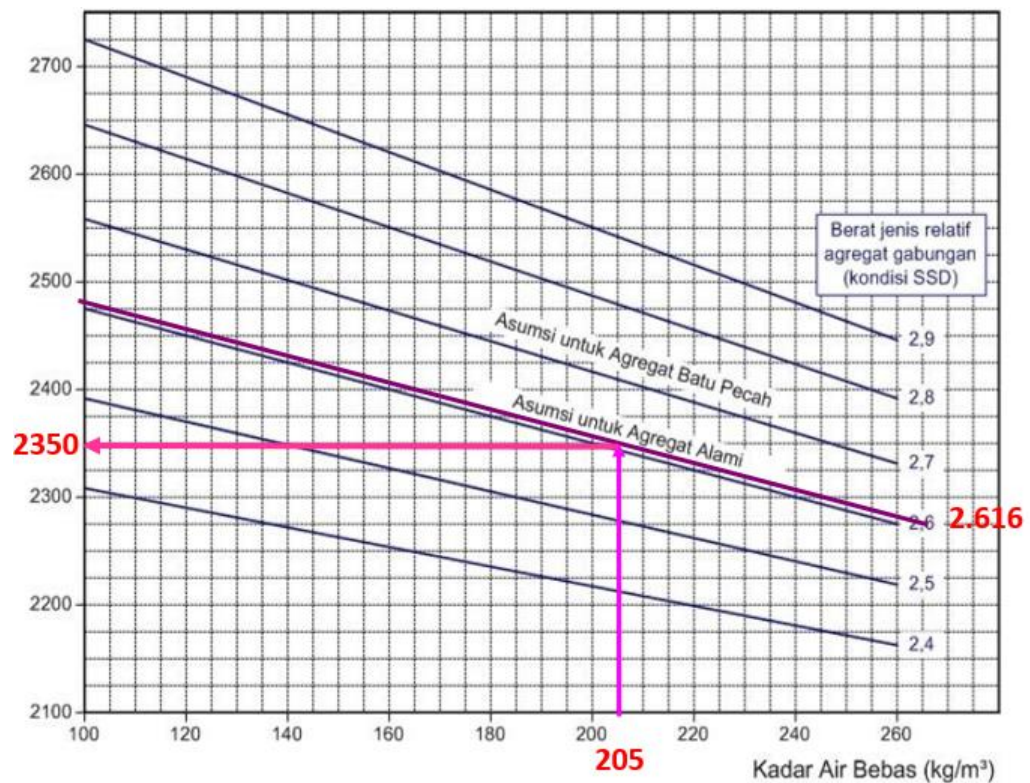
$BJ_{ag,halus}$ = Berat jenis agregat halus

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

$\%Ag.Halus$ = Persen agregat halus (%)

$\%Ag.Kasar$ = Persen agregat kasar (%)

16. Menentukan berat beton berdasarkan Gambar 5.7 sebagai berikut.
- Dari berat jenis gabungan sebesar 2,616 dibuat kurva baru sesuai Gambar 5.7.
 - Tariklah garis vertikal ke atas hingga memotong kurva baru di butir sebelumnya, dari kadar air bebas yaitu 205 kg/m^3 .
 - Tariklah garis horizontal ke kiri dari titik perpotongan, mendapatkan nilai perkiraan berat beton yaitu 2350 kg/m^3 .



Gambar 5.7 Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Dipadatkan

Sumber: SNI-03-2834-2000

17. Penetapan kadar agregat perpaduan dari pemakaian Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ag.gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \\
 &= 2350 - 410 - 205 \\
 &= 1735 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

Keterangan:

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

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

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

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

18. Penetapan kadar agregat (halus dan kasar) di campuran beton dengan penggunaan Persamaan 3.9 dan 3.10 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ag.halus}} &= \% \text{Halus} \times W_{\text{ag.gab}} \\
 &= 41,50 \% \times 1735 \\
 &= 720,025 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ag.kasar}} &= W_{\text{ag.gab}} - W_{\text{ag.halus}} \\
 &= 1735 - 720,025 \\
 &= 1014,975 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Keterangan:

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

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

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

%Halus = Persen agregat halus (%)

5.3 Proporsi Campuran Beton

Proporsi dari campuran didapat setelah adanya rancangan campuran beton (*mix design*) selesai dilakukan sebelumnya. Berikut ini ialah nilai proporsi campuran beton.

1. Proporsi campuran beton untuk per m^3

Hasil berikut dihasilkan dari proses rancangan campuran beton untuk setiap proporsi campuran beton material per m^3 .

- a. Air = 205 kg/m^3
- b. Semen = 410 kg
- c. Agregat halus = 720,025 kg/m^3
- d. Agregat kasar = 1014,975 kg/m^3

2. Proporsi campuran beton untuk per m^3 dengan penyusutan

Dengan mengambil penyusutan 20%, proporsi campuran beton per m^3 ialah sebagai berikut.

- a. Air = 246 kg/m^3
- b. Semen = 492 kg
- c. Agregat halus = 864,030 kg/m^3
- d. Agregat kasar = 1217,970 kg/m^3

3. Hasil perancangan campuran beton

Tabel 5.14 sebagai berikut menunjukkan rekapitulasi perancangan campuran beton.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan Campuran Beton Bersumber (SNI-03-2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton rencana	25	MPa
2	Deviasi Standar	7	
3	Nilai Tambah (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Batu alam	
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Faktor air semen digunakan	0,5	
9	Nilai <i>Slump</i>	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	FAS disesuaikan	-	
17	Butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,639	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,600	
19	Persen agregat halus	41,5	%
20	Persen agregat kasar	58,5	%
21	Berat jenis agregat gabungan (SSD)	2,616	
22	Berat Beton	2350	kg/m ³
23	Jumlah agregat gabungan	1735	kg/m ³

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Perancangan Campuran Beton
(Mix Design)

No	Uraian	Nilai	Satuan
24	Jumlah agregat halus	720,025	kg/m ³
25	Jumlah agregat kasar	1014,975	kg/m ³
26	Rasio campuran material teoritis per m ³		
	Air	205	kg/m ³
	Semen	410	kg/m ³
	Agregat halus	720,025	kg/m ³
	Agregat kasar	1014,98	kg/m ³
27	Rasio campuran dengan angka penyusutan 20% per m ³		
	Air	246	kg/m ³
	Semen	492	kg/m ³
	Agregat halus	864,030	kg/m ³
	Agregat kasar	1217,970	kg/m ³

4. Proporsi campuran untuk kebutuhan total material benda uji

Dalam penelitian ini, silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan. Proporsi volume benda uji dicari bersumberkan dari jumlah benda uji yang dicampur sekaligus, yaitu 10 buah setiap 1 kali *mixing*. Dalam penelitian ini, variasi *gypsum* dan karbit masing-masing dibuat dengan tiga kali campuran dengan substitusi semen dan satu campuran untuk beton normal. Berikut ialah rincian material total dan volume benda uji silinder sebanyak 40 buah untuk semua jenis varian dan beton normal.

a. Volume Silinder (40 buah)

$$\begin{aligned}
 V &= 40 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= 40 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,212 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}
 &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total air}} \\
 &= 0,212 \times 246
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 52,166 \text{ kg} \\
 \text{c. Semen} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total semen}} \\
 &= 0,212 \times 492 \\
 &= 104,332 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat halus} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat halus}} \\
 &= 0,212 \times 864,030 \\
 &= 183,224 \text{ kg} \\
 \text{e. Agregat kasar} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat kasar}} \\
 &= 0,212 \times 1217,970 \\
 &= 258,280 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5. Proporsi campuran untuk setiap kali *mixing*

Untuk variasi *gypsum* dan karbit sebagai substitusi pada semen, proporsi campuran untuk setiap campuran ditunjukkan berikut ini.

Volume Silinder (10 buah)

$$\begin{aligned}
 V &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

a. Proporsi campuran untuk *mixing* pertama untuk beton normal (10 buah)

$$\begin{aligned}
 \text{1) Air} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total air}} \\
 &= 0,053 \times 246 \\
 &= 13,042 \text{ kg} \\
 \text{2) Semen} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total semen}} \\
 &= 0,053 \times 492 \\
 &= 26,083 \text{ kg} \\
 \text{3) Agregat halus} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat halus}} \\
 &= 0,053 \times 864,030 \\
 &= 45,806 \text{ kg} \\
 \text{4) Agregat kasar} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat kasar}} \\
 &= 0,053 \times 1217,970 \\
 &= 64,570 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Proporsi campuran untuk *mixing* kedua untuk beton normal substitusi semen dengan limbah *gypsum* 4% dan limbah karbit 12% (10 buah)

- 1) Gypsum $= V_{\text{total semen}} \times 4\% \text{ gypsum}$
 $= 26,083 \times 4\%$
 $= 1,043 \text{ kg}$
- 2) Karbit $= V_{\text{total semen}} \times 12\% \text{ karbit}$
 $= 26,083 \times 12\%$
 $= 3,130 \text{ kg}$
- 3) Semen $= (V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total semen}}) - \text{gypsum \& karbit}$
 $= (0,053 \times 492) - 4,173$
 $= 21,910 \text{ kg}$
- 4) Air $= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total air}}$
 $= 0,053 \times 246$
 $= 13,042 \text{ kg}$
- 5) Agregat halus $= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat halus}}$
 $= 0,053 \times 864,030$
 $= 45,806 \text{ kg}$
- 6) Agregat kasar $= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat kasar}}$
 $= 0,053 \times 1217,970$
 $= 64,570 \text{ kg}$

c. Proporsi campuran untuk *mixing* ketiga untuk beton normal substitusi semen dengan limbah *gypsum* 4% dan limbah karbit 14% (10 buah)

- 1) Gypsum $= V_{\text{total semen}} \times 4\% \text{ gypsum}$
 $= 26,083 \times 4\%$
 $= 1,043 \text{ kg}$
- 2) Karbit $= V_{\text{total semen}} \times 14\% \text{ karbit}$
 $= 26,083 \times 14\%$
 $= 3,652 \text{ kg}$
- 3) Semen $= (V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total semen}}) - \text{gypsum \& karbit}$
 $= (0,053 \times 492) - 4,695$
 $= 21,388 \text{ kg}$

$$\begin{aligned}
 4) \text{ Air} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total air}} \\
 &= 0,053 \times 246 \\
 &= 13,042 \text{ kg} \\
 5) \text{ Agregat halus} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat halus}} \\
 &= 0,053 \times 864,030 \\
 &= 45,806 \text{ kg} \\
 6) \text{ Agregat kasar} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat kasar}} \\
 &= 0,053 \times 1217,970 \\
 &= 64,570 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

d. Proporsi campuran untuk *mixing* keempat untuk beton normal substitusi semen dengan limbah *gypsum* 4% dan limbah karbit 16% (10 buah)

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Gypsum} &= V_{\text{total semen}} \times 4\% \text{ gypsum} \\
 &= 26,083 \times 4\% \\
 &= 1,043 \text{ kg} \\
 2) \text{ Karbit} &= V_{\text{total semen}} \times 16\% \text{ karbit} \\
 &= 26,083 \times 16\% \\
 &= 4,173 \text{ kg} \\
 3) \text{ Semen} &= (V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total semen}}) - \text{gypsum \& karbit} \\
 &= (0,053 \times 492) - 5,217 \\
 &= 20,866 \text{ kg} \\
 4) \text{ Air} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total air}} \\
 &= 0,053 \times 246 \\
 &= 13,042 \text{ kg} \\
 5) \text{ Agregat halus} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat halus}} \\
 &= 0,053 \times 864,030 \\
 &= 45,806 \text{ kg} \\
 6) \text{ Agregat kasar} &= V_{\text{total silinder}} \times V_{\text{total agregat kasar}} \\
 &= 0,053 \times 1217,970 \\
 &= 64,570 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 sebagai berikut menunjukkan rekapitulasi proporsi campuran penelitian sebagai berikut.

**Tabel 5.15 Proporsi Campuran Beton dengan Limbah Gypsum dan Karbit
Sebagai Substitusi Semen**

Uraian	Gypsum (kg)	Karbit (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
0% Gypsum 0% Karbit	-	-	26,083	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 12% Karbit	1,043	3,130	21,910	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 14% Karbit	1,043	3,652	21,388	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 16% Karbit	1,043	4,173	20,866	13,042	45,806	64,570
Jumlah	3,130	10,955	90,247	52,166	183,224	258,280

5.4 Pengujian *Slump*

Uji *slump* digunakan untuk beton yang baru dibuat untuk mengetahui seberapa efektif pengerjaan pekerjaan (*workability*). Nilai *slump* beton yang lebih tinggi sehingga dapat lebih mudah dikerjakan (*workability*), yang berarti bahwa beton yang baik tidak akan memisahkan agregat dari campuran, yang dikenal sebagai segregasi, dan air dari campuran material, yang dikenal sebagai *bleeding*. Pada pekerjaan pencampuran beton (*mixing*) digunakan *slump* rencana yakni sebesar 10 ± 2 cm. Adapun hasil dari nilai *slump* yang diperoleh pada setiap jenis variasi campuran pada beton bisa dilihat di Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Pengujian Nilai *Slump*

Varias Kadar Gypsum	Variasi Kadar Karbit	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Syarat <i>Slump</i> (10 ± 2) cm
0 %	0 %	12	Memenuhi
4 %	12 %	10,75	Memenuhi
4 %	14 %	9	Memenuhi
4 %	16 %	8,25	Memenuhi

Berdasarkan pada Tabel 5.16 sebelumnya, tinggi nilai *slump* pada semua jenis variasi pada limbah *gypsum* dan karbit telah memenuhi *slump* rencana yaitu 10 ± 2 cm. Gambar 5.8 berikut menunjukkan uji *slump* pada saat *mixing*.

**Gambar 5.8 Pengujian *Slump***

5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan bersumber dari SNI-03-1974-2011, tujuannya ialah mendapatkan kekuatan beton tertinggi yang dapat dicapai selama 28 hari. Untuk pengujian ini, mesin pengujian (*Compression Test Machine*) digunakan. Sebelum dilakukannya pengujian, sampel benda uji dikeringkan selama satu hari setelah dari perawatan perendaman. Setelah dilakukan pengeringan, selanjutnya dilakukan proses pelapisan pada permukaan sampel beton menggunakan sulfur ataupun belerang yang biasa disebut *capping*. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa permukaan sampel dapat menerima pembebanan secara merata. Gambar 5.9 berikut menunjukkan *capping* sampel beton.



Gambar 5.9 Capping Beton

Adapun salah satu contoh perhitungan dari kuat tekan beton dari berbagai variasi dapat dilihat sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton normal (BN)

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{445,152}{18050,460} \\ &= 24,662 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton variasi gypsum 4% + karbit 12% (TTM-GK₁)

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{445,221}{18145,839} \\ &= 24,536 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton variasi gypsum 4% + karbit 14% (TTM-GK₂)

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{449,900}{18385,386} \\ &= 24,471 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Kuat tekan beton variasi gypsum 4% + karbit 18% (TTM-GK₃)

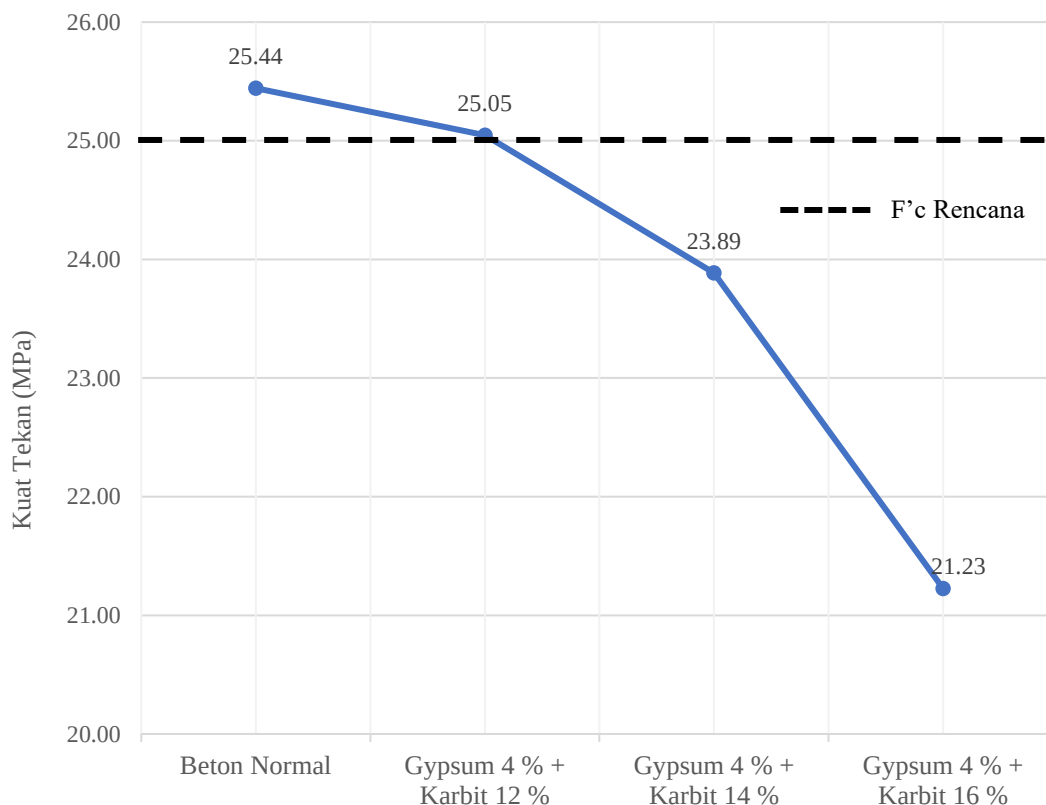
$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{388,800}{17848,615} \end{aligned}$$

$$= 21,783 \text{ MPa}$$

Dengan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya, semua sampel benda uji variasi limbah *gypsum* dan karbit dihitung juga sehingga didapat hasil pengujian rekapitulasi uji tekan beton bisa dilihat di Tabel 5.17 dan Gambar 5.10 berikut ini.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar Gypsum & Karbit	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (Kn)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
0%	BN ₁	151,600	302,350	18050,460	445,152	24,662	25,44
	BN ₂	150,750	301,300	17848,615	446,750	25,030	
	BN ₃	149,900	300,700	17647,905	465,868	26,398	
	BN ₄	151,500	302,450	18026,655	460,486	25,545	
	BN ₅	150,500	301,600	17789,465	455,039	25,579	
4% + 12%	TTM-GK ₁	152,000	304,400	18145,839	445,221	24,536	25,05
	TTM-GK ₂	150,750	302,750	17848,615	443,325	24,838	
	TTM-GK ₃	150,100	301,100	17695,028	448,087	25,323	
	TTM-GK ₄	150,050	302,900	17683,242	440,370	24,903	
	TTM-GK ₅	152,000	304,000	18145,839	455,890	25,124	
4% + 14%	TTM-GK ₁	153,000	304,000	18385,386	449,900	24,471	23,89
	TTM-GK ₂	152,100	304,400	18169,723	468,800	25,801	
	TTM-GK ₃	149,700	302,800	17600,844	446,700	25,379	
	TTM-GK ₄	151,350	300,400	17990,976	395,000	21,955	
	TTM-GK ₅	150,100	303,000	17695,028	386,100	21,820	
4% + 16%	TTM-GK ₁	150,750	304,400	17848,615	388,800	21,783	21,23
	TTM-GK ₂	150,100	303,000	17695,028	376,175	21,259	
	TTM-GK ₃	150.600	304,800	17813,113	385,000	21,613	
	TTM-GK ₄	152.450	301,350	18253,441	365,425	20,020	
	TTM-GK ₅	150.250	301.700	17730,413	380,425	21,456	



Gambar 5.10 Grafik Kuat Tekan Rerata dengan Berbagai Variasi

Berdasarkan Tabel 5.17 dan Gambar 5.10 sebelumnya didapatkan rerata kuat tekan beton dari beton normal hingga berbagai variasi dari penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Adapun penjelasan dari kuat tekan beton sebelumnya yang didapat sebagai berikut.

- Beton normal (BN) mempunyai kuat tekan rerata yaitu 25,440 MPa sehingga sudah sesuai dari kuat tekan beton rencana ialah 25 MPa. Yang berarti rancangan campuran pada beton dapat digunakan sebagai acuan untuk beton dari berbagai varian penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen.
- Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen (TTM-GK₁) mempunyai kuat tekan rerata yaitu 25,050 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 1,555% dari kuat tekan beton normal acuan.
- Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 14% sebagai substitusi semen (TTM-GK₂) mempunyai kuat tekan rerata yaitu 23,890 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 6,121% dari kuat tekan beton normal acuan.

- d. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 16% sebagai substitusi semen (TTM-GK₃) mempunyai kuat tekan rerata yaitu 21,230 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 16,572% dari kuat tekan beton normal acuan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwasannya beton yang ditambahkan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti semen ternyata nilai kuat tekannya lebih rendah daripada beton biasa. Hal ini berjalan seiringnya semakin banyaknya limbah *gypsum* dan karbit yang ditambahkan menyebabkan pada saat *mixing* penyerapan air yang terjadi kecil pada *gypsum* dan karbit sehingga berpengaruh pada tekstur campuran dan lebih sulit memadatkannya dibanding di beton normal dan juga limbah *gypsum* dan karbit tidak bisa mengisi dan menggantikan udara pada rongga pada beton. Begitu juga penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Triayana Vivian Wagio Dkk,2023 yang meneliti bahwa ditambahkan limbah *gypsum* dengan kadar 5% dan karbit dengan kadar 8% dan 12% sebagai substitusi pada semen mengalami peningkatan di kuat tekan dan nilai maksimum didapat pada beton dengan karbit variasi 12% di semua pengujian. Yang berarti bahwa pada penelitian saat ini dengan ditambahkan limbah *gypsum* dan karbit dengan kadar variasi semakin besar malah akan menyebabkan penurunan pada beton dan hanya pada nilai variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% mempunyai kuat tekan rerata yaitu 25,050 MPa yang dimana sesuai dari nilai kuat tekan rencana yang disyaratkan yakni 25 MPa dan mengalami peningkatan sebesar 0,1888 % dari 25 MPa.

Adapun Gambar 5.11 sebagai berikut menunjukkan kondisi kuat tekan di berbagai variasi selama dan setelah pengujian.



Gambar 5.11 Pengujian Kuat Tekan dan Sampel Benda Uji Setelah Pengujian

5.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kekuatan tekan beton dilakukan sesuai sumber dari SNI-03-2491-2002 dan dilakukan selama 28 hari, tujuannya adalah untuk mendapatkan kekuatan tarik belah maksimum beton. Pengujian kuat tarik belah memakai mesin pengujian (*Compression Test Machine*). Sebelum dilakukannya pengujian, sampel benda uji dikeringkan sepanjang satu hari setelah dari perawatan perendaman. Sebanyak 20 sampel benda uji dipakai untuk menguji kekuatan tarik belah beton. Contoh perhitungan kekuatan tarik belah pada variasi beton ditunjukkan berikut ini.

1. Kuat tarik belah beton normal (BN)

$$\begin{aligned} f'_{ct} &= \frac{2 P}{\pi D L} \\ &= \frac{2 \times 190}{\pi \times 151,650 \times 307,700} \\ &= 2,592 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tarik belah beton variasi gypsum 4% + karbit 12% (TTM-GK₁)

$$\begin{aligned} f'_{ct} &= \frac{2 P}{\pi D L} \\ &= \frac{2 \times 181}{\pi \times 150,250 \times 301,300} \\ &= 2,545 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tarik belah beton variasi gypsum 4% + karbit 14% (TTM-GK₂)

$$\begin{aligned} f'_{ct} &= \frac{2 P}{\pi D L} \\ &= \frac{2 \times 172}{\pi \times 150,200 \times 304} \\ &= 2,398 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Kuat tarik belah beton variasi gypsum 4% + karbit 18% (TTM-GK₃)

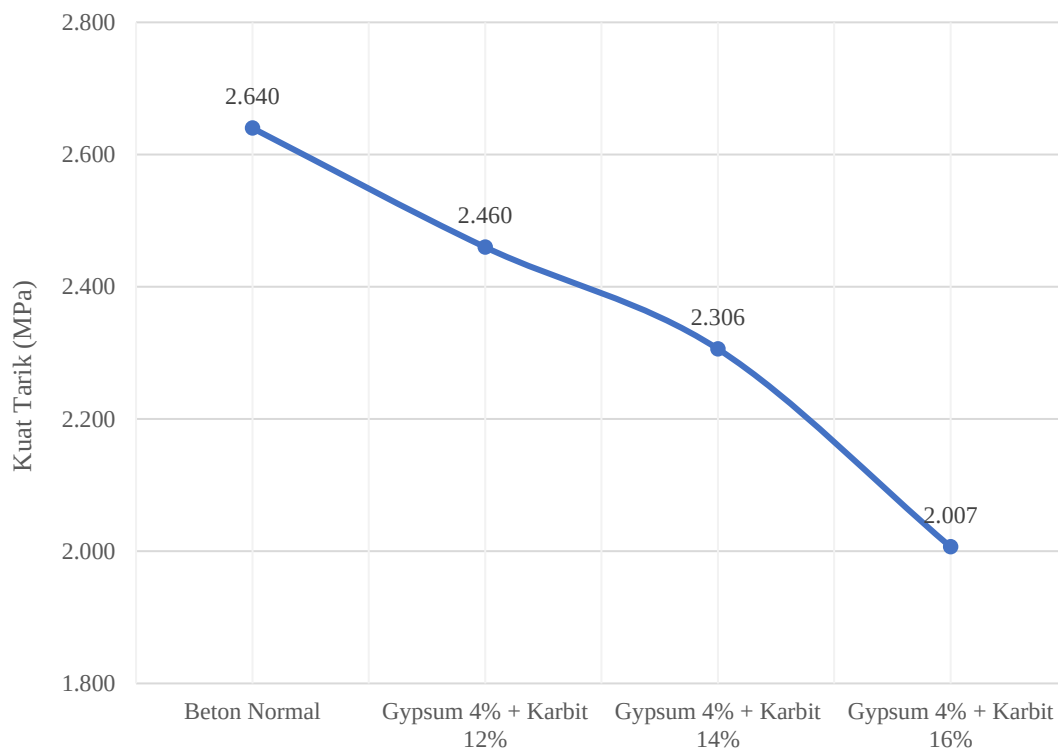
$$\begin{aligned} f'_{ct} &= \frac{2 P}{\pi D L} \\ &= \frac{2 \times 157}{\pi \times 149,600 \times 304,200} \\ &= 2,196 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya, semua sampel benda uji variasi limbah *gypsum* dan karbit dihitung juga sehingga didapat hasil pengujian

rekapitulasi uji kuat tarik belah beton bisa dilihat pdi Tabel 5.18 dan Gambar 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kadar Gypsum & Karbit	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm²)	Beban Maks (Kn)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rerata (MPa)
0%	BN ₆	151,650	307,700	146595,211	190	2,592	2,640
	BN ₇	150,200	302,200	142598,273	194	2,721	
	BN ₈	151,800	301,900	143974,228	181	2,514	
	BN ₉	149,800	301,200	141747,907	189	2,667	
	BN ₁₀	151,750	305,400	145595,384	197	2,706	
4% + 12%	TTM-GK ₆	151,200	303,800	144307,676	182	2,522	2,405
	TTM-GK ₇	150,200	302,900	142928,580	178	2,491	
	TTM-GK ₈	151,300	302,100	143595,069	166	2,312	
	TTM-GK ₉	150,250	301,300	142220,920	181	2,545	
	TTM-GK ₁₀	150,750	300,720	142419,516	173	2,429	
4% + 14%	TTM-GK ₆	150,200	304,000	143447,634	172	2,398	2,306
	TTM-GK ₇	150,035	302,000	142347,354	160	2,248	
	TTM-GK ₈	149,500	300,000	140900,431	158	2,243	
	TTM-GK ₉	150,500	300,250	141961,111	167	2,353	
	TTM-GK ₁₀	150,900	302,350	143333,955	164	2,288	
4% + 16%	TTM-GK ₆	149,600	304,200	142968,604	145	2,028	2,007
	TTM-GK ₇	150,700	300,500	142268,123	140	1,968	
	TTM-GK ₈	151,100	302,150	143428,988	138	1,924	
	TTM-GK ₉	150,000	303,300	142926,758	149	2,085	
	TTM-GK ₁₀	152,000	303,700	145023,457	147	2,027	



Gambar 5.12 Grafik Kuat Tarik Belah Rerata dengan Berbagai Variasi

Berdasarkan Tabel 5.18, didapatkan kuat tarik beton rerata dari variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen secara berurutan yaitu 2,640 MPa, 2,460 MPa, 2,306 MPa, dan 2,007 MPa. Kuat tarik terbesar didapat di beton normal dan kuat tarik terendah didapatkan di variasi beton dengan penambahan limbah *gypsum* 4% dan karbit 16%. Adapun penjelasan dari kuat tekan beton sebelumnya yang didapat sebagai berikut.

- Beton normal (BN) mempunyai kuat tarik belah rerata yaitu 2,640 MPa.
- Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen (TTM-GK₁) mempunyai kuat tarik belah rerata yaitu 2,460 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 6,82% dari kuat tarik belah beton normal acuan.
- Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 14% sebagai substitusi semen (TTM-GK₂) mempunyai kuat tarik belah rerata yaitu 2,306 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 6,26% dari kuat tarik belah beton normal acuan.

- d. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 16% sebagai substitusi semen (TTM-GK₃) mempunyai nilai kuat tarik belah rerata yaitu 2,007 MPa, ternyata menyebabkan penurunan sebesar 12,983% dari kuat tarik belah beton normal acuan.

Hampir sama dengan pembahasan yang sudah dibahas pada pengujian kuat tekan beton sebelumnya, bahwa hal yang mempengaruhi ini adalah dengan penambahannya limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen di campuran beton bisa mengakibatkan turunnya kuat tarik belah pada beton yang disebabkan oleh kurang melekatnya komponen material antara agregat, semen, air, dan limbah *gypsum* dan karbit khususnya sehingga menyebabkan adanya rongga udara atau pori pada cetakan beton satu hari setelah pengecoran, meskipun sudah dipadatkan dengan palu. Begitu juga penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Triayana Vivian Wagio Dkk, 2023, mengamati bahwa ditambahkan limbah *gypsum* dengan kadar 5% dan karbit dengan kadar 8% dan 12% sebagai substitusi pada semen mengalami peningkatan pada kuat tarik belah beton dan nilai maksimum terdapat di beton dengan *gypsum* 5% dan karbit variasi 12% di semua pengujian. Yang berarti bahwa pada penelitian saat ini dengan ditambahkan limbah *gypsum* dan karbit dengan kadar variasi semakin besar malah akan menyebabkan penurunan pada beton dan hanya pada nilai variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% mempunyai kuat tarik belah rerata yaitu 2,460 MPa lebih tinggi dari semua variasi limbah *gypsum* dan karbit.

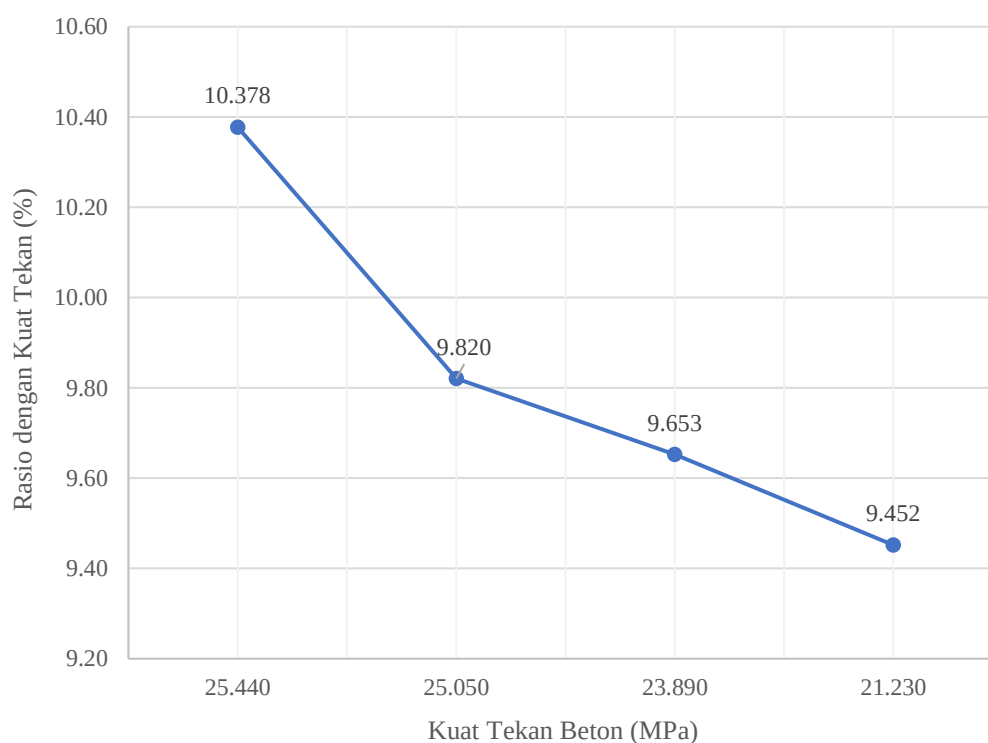
Adapun Tabel 5.19 dan Gambar 5.13 menunjukkan hubungan antara rasio kekuatan tarik belah dan kekuatan tekan beton sebagai berikut.

Tabel 5.19 Rasio Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rerata (f'_c) (MPa)	Kuat Tekan Rerata (f_t) (MPa)	Rasio dengan Kuat Tekan (%)
BN	2,640	25,440	10,378
TTM - GK ₁	2,460	25,050	9,820

Lanjutan Tabel 5.19 Rasio Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rerata (f'_c) (MPa)	Kuat Tekan Rerata (f_t) (MPa)	Rasio dengan Kuat Tekan (%)
TTM - GK ₂	2,306	23,890	9,653
TTM - GK ₃	2,007	21,230	9,452



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Tabel 5.19 dan Gambar 5.13 menunjukkan antara hubungan kuat tekan dengan kuat tarik beton berbanding terbalik dengan penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen dengan berbagai variasi akan menyebabkan turunnya nilai rasio hubungan antara kuat tekan dan tarik beton. Didapatkan nilai secara berurutan pada rasio hubungan antara kuat tarik belah dengan kuat tekan yakni sebesar 10,378 %, 9,820 %, 9,653 %, dan 9,452 %. Hal ini sesuai dengan apa yang dikatakan Dipohusodo (1999) menyatakan bahwasannya

nilai tarik belah beton normal berkisar antara 8 dan 15% dari kuat tekannya. Adapun Gambar 5.14 sebagai berikut menunjukkan pengujian kekuatan tarik beton dan kondisi setelah pengujian.



Gambar 5.14 Pengujian Kuat Tarik Belah dan Sampel Benda Uji Setelah Pengujian

5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas bertujuan agar mendapatkan seberapa kaku atau elastisitas beton tersebut yang dimana menggambarkan kemampuan beton untuk mengembalikan bentuknya setelah diberi beban atau deformasi. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasang *dial gauge* atau ekstensometer pada benda uji dan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton yang berfungsi memberi tahu penurunan pada beton ketika diberi pembebanan oleh mesin (*Compression Test Machine*). Pembacaan pada pengujian modulus elastisitas beton menggunakan dua kamera yang tersedia di Laboratorium. Kemudian, kedua kamera tersebut dihubungkan bersama melalui laptop dan direkam secara bersamaan menggunakan aplikasi OBS. Kamera pertama memperlihatkan pembacaan *dial gauge* atau ekstensometer, sedangkan kamera kedua memperlihatkan pembacaan pembebanan dari mesin *compression machine test* (CTM). Pengujian modulus elastisitas dilakukan hingga mencapai pembebanan maksimum pada beton yang diuji dan

dibaca penurunannya kemudian dilakukan pada setiap beban 10 kN. Perhitungan modulus elastisitas terdiri dari modulus teoritis bersumber dari SNI-03-2847-2019 dan modulus pengujian bersumber dari ASTM C-469.

1. Modulus Pengujian Bersumber dari ASTM C-469

Pengujian modulus elastisitas dihitung berdasarkan dari ASTM C-469 yang dimana dilakukan pembacaan dari alat (CTM) dan dua kamera sebelumnya. Tabel 5.20 menunjukkan perhitungan modulus elastisitas sebagai berikut.

Tabel 5.20 Tegangan Regangan Beton Normal

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	7	0,003500	0,0000175	0,554
20	20000	16	0,008000	0,0000400	1,108
30	30000	22	0,011000	0,0000550	1,662
40	40000	29	0,014500	0,0000725	2,216
50	50000	37	0,018500	0,0000925	2,770
60	60000	42	0,021000	0,0001050	3,324
70	70000	49	0,024500	0,0001225	3,878
80	80000	57	0,028500	0,0001425	4,432
90	90000	63	0,031500	0,0001575	4,986
100	100000	74	0,037000	0,0001850	5,540
110	110000	80	0,040000	0,0002000	6,094
120	120000	84	0,042000	0,0002100	6,648
130	130000	87	0,043500	0,0002175	7,202
140	140000	99	0,049500	0,0002475	7,756
150	150000	105	0,052500	0,0002625	8,310
160	160000	114	0,057000	0,0002850	8,864
170	170000	123	0,061500	0,0003075	9,418
180	180000	130	0,065000	0,0003250	9,972
190	190000	139	0,069500	0,0003475	10,526

Lanjutan Tabel 5.20 Tegangan-Regangan Benda Uji Beton Normal

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
200	200000	145	0,072500	0,0003625	11,080
210	210000	153	0,076500	0,0003825	11,634
220	220000	159	0,079500	0,0003975	12,188
230	230000	165	0,082500	0,0004125	12,742
240	240000	174	0,087000	0,0004350	13,296
250	250000	180	0,090000	0,0004500	13,850
260	260000	189	0,094500	0,0004725	14,404
270	270000	194	0,097000	0,0004850	14,958
280	280000	201	0,100500	0,0005025	15,512
290	290000	208	0,104000	0,0005200	16,066
300	300000	218	0,109000	0,0005450	16,620
310	310000	226	0,113000	0,0005650	17,174
320	320000	234	0,117000	0,0005850	17,728
330	330000	241	0,120500	0,0006025	18,282
340	340000	249	0,124500	0,0006225	18,836
350	350000	260	0,130000	0,0006500	19,390
360	360000	269	0,134500	0,0006725	19,944
370	370000	278	0,139000	0,0006950	20,498
380	380000	286	0,143000	0,0007150	21,052
390	390000	289	0,144500	0,0007225	21,606
400	400000	300	0,150000	0,0007500	22,160
410	410000	310	0,155000	0,0007750	22,714
420	420000	322	0,161000	0,0008050	23,268
430	430000	335	0,167500	0,0008375	23,822
440	440000	350	0,175000	0,0008750	24,376
445.152	445152	375	0,187500	0,0009375	24,662

Lanjutan Tabel 5.20 Tegangan-Regangan Benda Uji Beton Normal

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
445	445000	384	0,192000	0,0009600	24,653
440	440000	399	0,199500	0,0009975	24,376
430	430000	403	0,201500	0,0010075	23,822
420	420000	411	0,205500	0,0010275	23,268
410	410000	417	0,208500	0,0010425	22,714
400	400000	423	0,211500	0,0010575	22,160

Keterangan: Tegangan 1

Tegangan 2

Berdasarkan Tabel 5.20 sebelumnya, data tegangan regangan dikumpulkan melalui analisis perhitungan dengan metode pengujian yang bersumber pada ASTM C-469. Data ini kemudian diplot menggunakan *AutoCAD* untuk menemukan nilai koreksi yang diperlukan untuk memperbaiki nilai tegangan satu (σ_1) dan regangan satu (ϵ_1). Adapun perhitungan dari nilai koreksi adalah sebagai berikut.

$$\sigma_2 = 9,418 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 7,202 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_2 = 0,0003075$$

$$\epsilon_1 = 0,0002175$$

Perhitungan angka koreksi (x)

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2 \pm X}$$

$$\frac{9,418 - 7,202}{0,0003075 - 0,0002175} = \frac{9,418}{0,0003075 \pm X}$$

$$24622,33 = \frac{9,418}{0,0003075 \pm X}$$

$$X = 0,0000750$$

Tabel 5.21 berikut menunjukkan nilai koreksi (x) yang dipakai untuk membenarkan data regangan dan menghasilkan data regangan yang dikoreksi.

Tabel 5.21 Tegangan Regangan Terkoreksi Beton Normal

Beban (P)		Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan Dikoreksi (ϵ')
kN	N	%	MPa	%
10	10000	0,0000175	0,554	0,00009250
20	20000	0,0000400	1,108	0,00011500
30	30000	0,0000550	1,662	0,00013000
40	40000	0,0000725	2,216	0,00014750
50	50000	0,0000925	2,770	0,00016750
60	60000	0,0001050	3,324	0,00018000
70	70000	0,0001225	3,878	0,00019750
80	80000	0,0001425	4,432	0,00021750
90	90000	0,0001575	4,986	0,00023250
100	100000	0,0001850	5,540	0,00026000
110	110000	0,0002000	6,094	0,00027500
120	120000	0,0002100	6,648	0,00028500
130	130000	0,0002175	7,202	0,00029250
140	140000	0,0002475	7,756	0,00032250
150	150000	0,0002625	8,310	0,00033750
160	160000	0,0002850	8,864	0,00036000
170	170000	0,0003075	9,418	0,00038250
180	180000	0,0003250	9,972	0,00040000
190	190000	0,0003475	10,526	0,00042250
200	200000	0,0003625	11,080	0,00043750
210	210000	0,0003825	11,634	0,00045750
220	220000	0,0003975	12,188	0,00047250
230	230000	0,0004125	12,742	0,00048750
240	240000	0,0004350	13,296	0,00051000
250	250000	0,0004500	11,080	0,00052500

Lanjutan Tabel 5.21 Tegangan Regangan Terkoreksi Beton Normal

Beban (P)		Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan Dikoreksi (ϵ')
kN	N	%	MPa	%
260	260000	0,0004725	14,404	0,00054750
270	270000	0,0004850	14,958	0,00056000
280	280000	0,0005025	15,512	0,00057750
290	290000	0,0005200	16,066	0,00059500
300	300000	0,0005450	16,620	0,00062000
310	310000	0,0005650	17,174	0,00064000
320	320000	0,0005850	17,728	0,00066000
330	330000	0,0006025	18,282	0,00067750
340	340000	0,0006225	18,836	0,00069750
350	350000	0,0006500	19,390	0,00072500
360	360000	0,0006725	19,944	0,00074750
370	370000	0,0006950	20,498	0,00077000
380	380000	0,0007150	21,052	0,00079000
390	390000	0,0007225	21,606	0,00079750
400	400000	0,0007500	22,160	0,00082500
410	410000	0,0007750	22,714	0,00085000
420	420000	0,0008050	23,268	0,00088000
430	430000	0,0008375	23,822	0,00091250
440	440000	0,0008750	24,376	0,00095000
445.152	445152	0,0009375	24,662	0,00101250
445	445000	0,0009600	24,653	0,00103500
440	440000	0,0009975	24,376	0,00107250
430	430000	0,0010075	23,822	0,00108250
420	420000	0,0010275	23,268	0,00110250
410	410000	0,0010425	22,714	0,00111750

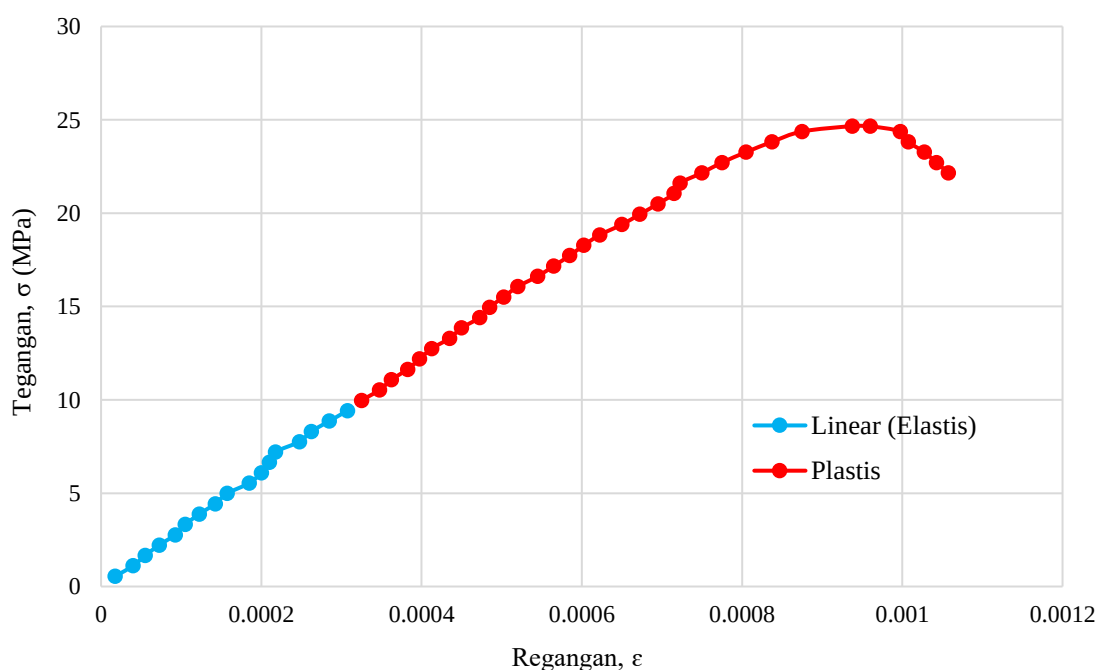
Lanjutan Tabel 5.21 Tegangan Regangan Terkoreksi Beton Normal

Beban (P)		Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan Dikoreksi (ϵ')
kN	N	%	MPa	%
400	400000	0,0010575	22,160	0.00113250

Keterangan: Tegangan 1

 Tegangan 2

Setelah didapatkan hasil perhitungan regangan terkoreksi pada Tabel 5.21, kemudian diplot grafik tegangan regangan beton. Selanjutnya, grafik yang menunjukkan tegangan regangan beton diplot. Nilai modulus elastisitas beton bisa dicari dengan menghitung kemiringan kurva regresi linier pada daerah yang dianggap elastis/linear. Batas kurva regresi linier yang dipakai ialah ketika tegangan saat beban 10 kN hingga tegangan saat 0,40 f'_c maksimum, karena daerah linier masih terjadinya tegangan sampai mencapai nilai 0,40 f'_c maksimum dikatakan oleh Nawy (2010). Berikut adalah Gambar 5.15 yang menunjukkan grafik hubungan tegangan regangan beton normal.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton Normal

Berdasarkan Grafik 5.15 kemudian diperoleh nilai tegangan satu dan dua serta regangan satu dan dua sehingga dapat dihitung modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469 sebagai berikut.

$$\sigma_2 = 9,418 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 7,202 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_2 = 0,00038250$$

$$\varepsilon_1 = 0,00029250$$

Perhitungan Modulus elastisitas (E_c)

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{9,418 - 7,202}{0,00038250 - 0,00029250} \\ &= 24622,33 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama juga dilakukan untuk mencari modulus elastisitas bersumber dari ASTM C-469 pada penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen.

2. Modulus Teoritis Bersumber dari SNI-03-2847-2019

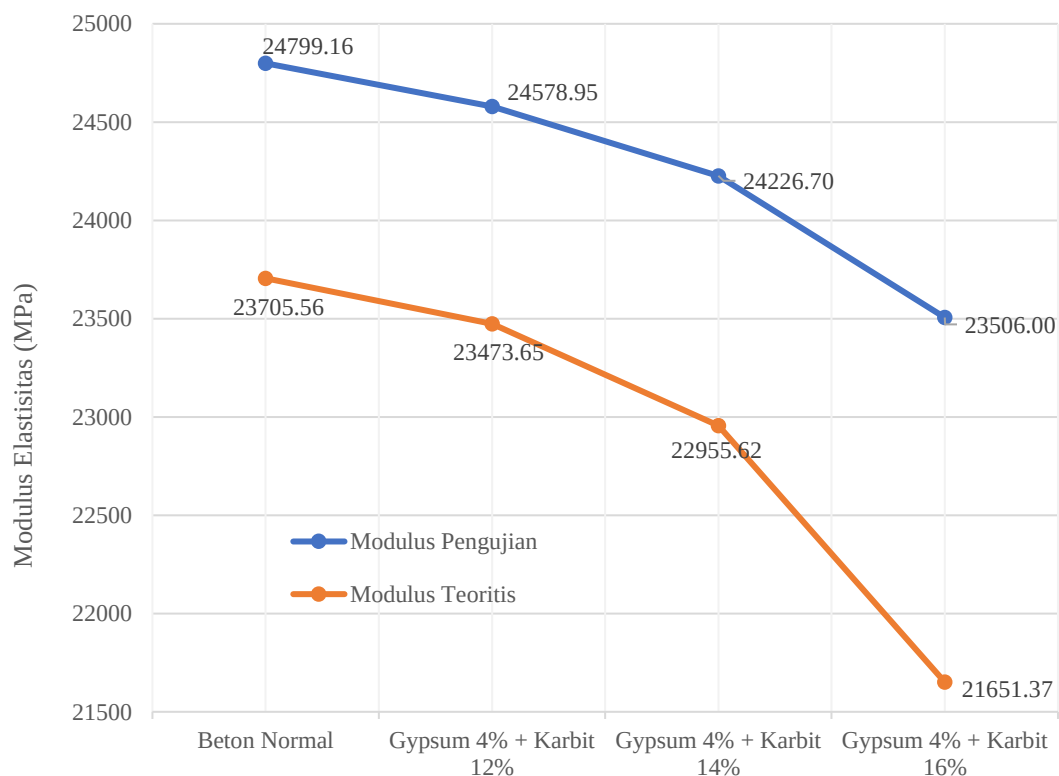
Perhitungan modulus teoritis dilakukan agar mendapat nilai modulus elastisitas dilakukan bersumber dari SNI-03-2847-2019. Contoh perhitungan untuk benda uji beton biasa ditunjukkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{F'c} \\ &= 4700 \times \sqrt{24,662} \\ &= 23340,38 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama juga dilakukan untuk mendapatkan modulus elastisitas berdasarkan SNI-03-2847-2019 pada penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Rekapitulasi pengujian modulus elastisitas bersumber pada ASTM C-469 dan teoritis bersumber dari SNI-03-2847-2019 bisa dilihat di Tabel 5.22 dan Gambar 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas

Variasi Kadar Gypsum + Karbit	Kode Sampel Benda Uji	ASTM C-469 (MPa)		Teoritis SNI-03-2847-2019 (MPa)	
		Ec	Rata-rata	Ec	Rata-rata
0%	BN ₁	24622,33	24799,16	23340,38	23705,56
	BN ₂	28522,71		23514,07	
	BN ₃	23447,15		24148,09	
	BN ₄	25359,27		23754,64	
	BN ₅	22044,33		23770,63	
4 % + 12 %	TTM-GK ₁	25933,67	24578,95	23280,76	23473,65
	TTM-GK ₂	26365,53		23423,77	
	TTM-GK ₃	23384,71		23651,21	
	TTM-GK ₄	25704,87		23454,48	
	TTM-GK ₅	21505,97		23558,05	
4 % + 14 %	TTM-GK ₁	25298,15	24226,70	23249,81	22955,62
	TTM-GK ₂	23173,31		23873,58	
	TTM-GK ₃	26222,52		23677,68	
	TTM-GK ₄	24703,74		22022,62	
	TTM-GK ₅	21735,79		21954,43	
4 % + 16 %	TTM-GK ₁	22985,34	23506,00	21936,07	21651,37
	TTM-GK ₂	21876,02		21670,41	
	TTM-GK ₃	26418,08		21850,35	
	TTM-GK ₄	23690,46		21029,29	
	TTM-GK ₅	22560,11		21770,73	



Gambar 5.16 Grafik Modulus Elastisitas Beton Rata-Rata

Berdasarkan Tabel 5.22 sebelumnya, didapatkan nilai rata-rata modulus elastisitas beton pengujian berdasarkan ASTM C-469 dan teoritis berdasarkan SNI-03-2847-2019 dari beton normal dan penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Nilai rata-rata modulus elastisitas pengujian pada beton normal dan penambahan limbah *gypsum* dan karbit secara berurutan adalah 24799,16 MPa, 24578,95 MPa, 24226,70 MPa, dan 23506,00. Sedangkan, nilai rata-rata modulus elastisitas teoritis pada beton normal dan penambahan limbah *gypsum* dan karbit secara berurutan adalah 23705,56 MPa, 23473,65 MPa, 22955,62 MPa, dan 21651,37 MPa.

Berdasarkan Gambar 5.16 sebelumnya, dapat dilihat bahwa penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen di campuran beton mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi *gypsum* dan karbit di campuran beton. Nilai hasil modulus elastisitas pengujian tertinggi diperoleh pada jenis beton normal yakni 24799,16 MPa dan pada penambahan variasi limbah *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen terbesar yakni sebesar 24578,95 MPa dari semua

variasi dan terendah pada variasi limbah *gypsum* 4% dan karbit 12 % sebesar 23506,00 MPa dari semua variasi. Ini menunjukkan bahwa beton akan menjadi lebih kaku jika ada regangan yang terjadi lebih kecil, dan sebaliknya, jika ada regangan yang terjadi besar, beton akan lebih mudah getas atau hancur. Tabel 5.23 berikut menunjukkan selisih persentase dari modulus elastisitas pengujian beton bersumber dari ASTM C-469 dan SNI-03-2847-2019.

Tabel 5.23 Selisih Modulus Elastisitas Pengujian dan Teoritis

Variasi Kadar Gypsum + Karbit	Kode Sampel Benda Uji	ASTM C-469 (MPa)	Teoritis SNI-03-2847-2019 (MPa)	Selisih Modulus Pengujian dan Modulus Teoritis (%)
		Ec Rata-rata	Ec Rata-rata	Ec Selisih
0 %	BN	24799,16	23705,56	4,61
4 % + 12 %	TTM-GK ₁	24578,95	23473,65	4,71
4 % + 14 %	TTM-GK ₂	24226,70	22955,62	5,54
4 % + 16 %	TTM-GK ₃	23506,00	21651,37	8,57
Selisih rata-rata (%)				5,86

Berdasarkan Tabel 5.23, mendapatkan selisih rata-rata modulus elastisitas pengujian dan modulus elastisitas teoritis sebesar 5,86%. Perbedaan tersebut didapat karena modulus elastisitas ASTM C-469 memperoleh data aktual yang ada saat pengujian berlangsung, sedangkan pengujian modulus elastisitas teoritis SNI-03-2847-2019 berdasarkan data pendekatan kuat tekan beton. Adapun modulus elastisitas teoritis digunakan sebagai pembandingan untuk mengukur seberapa akurat data hasil pengujian modulus elastisitas beton yang dilakukan secara seteoris sehingga seharusnya hasil modulus elastisitas pengujian dan teoritis tidak jauh berbeda. Menurut selisih hasil modulus elastisitas pengujian telah memenuhi persyaratan dari SNI-03-2847-2019 dengan selisih terbesar 20%. Selisih antara modulus elastisitas pengujian dan teoritis yang didapat sebelumnya terdapat beberapa selisih yang tidak jauh berbeda dan Adapun beberapa kendalanya yakni seperti:

1. Pada beberapa pengujian pertama modulus elastisitas (beton normal), kecepatan pembebanan pada mesin CTM menyebabkan hasil pembacaan pada *dial gauge* agak sulit dibaca.
2. Pada *dial gauge* atau alat ekstensometer pada beberapa pengujian variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit mengalami beberapa kendala pembacaan pada jarum yakni adanya jarum yang tiba-tiba berhenti dan tidak membaca sehingga menghasilkan tiga sampel beton pada pengujian mendapat modulus elastisitas yang tidak seharusnya.

Berdasarkan hal tersebut, akibat yang muncul dari beberapa kendala diatas seperti:

1. Hasil pengujian modulus elastisitas pada beton normal menjadi agak kurang akurat.
2. Hasil pengujian modulus elastisitas pada penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit pada beton menjadi agak kurang akurat.

Gambar 5.17 dan 5.18 menunjukkan pengujian modulus elastisitas beton sebagai berikut.



Gambar 5.17 Benda Uji Dipasang Alat Ekstensometer



Gambar 5.18 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

5.8 Hasil Semua Pengujian

Hasil dari setiap pengujian digunakan untuk menilai kekuatan beton secara keseluruhan dari normal hingga variasi *gypsum* dan karbit. Tabel 5.24 berikut menunjukkan hasil total dari semua pengujian.

Tabel 5.24 Hasil Semua Pengujian

Pengujian	Uraian			
	Beton Normal	Variasi 4% + 12%	Variasi 4% + 14%	Variasi 4% + 16%
	MPa	MPa	MPa	MPa
Kuat Tekan Beton	25,440	25,050	23,890	21,230
Kuat Tarik Belah	2,640	2,460	2,306	2,007
Modulus Elastisitas:				
a. Pengujian	24799,16	24578,95	24226,70	23506,00
b. Teoritis	23705,56	23473,65	22955,62	21651,37

Berdasarkan Tabel 5.24 sebelumnya, didapatkan beton normal mendapatkan hasil terbaik di pengujian kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas teoritis di

beton dan bisa dijadikan acuan. Sedangkan, beton dengan jenis variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit variasi 4% dan 12% mendapatkan hasil terbaik pada semua pengujian variasi beton. Maka berdasarkan hasil tersebut, hasil terbaik dari semua variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit terdapat pada variasi 4% *gypsum* dan karbit 12% yang mendapatkan kuat tekan yaitu 25,050 MPa, tarik belah yaitu 2,460 MPa, dan modulus elastisitas pengujian yaitu 24578,95 MPa, serta modulus elastisitas teoritis sebesar 23473,65 MPa dari semua variasi limbah *gypsum* dan karbit. Akan tetapi, hasil tersebut bukan berarti terburuk melainkan tetap sesuai dengan mutu kuat tekan rencana yang direncanakan sebesar f'_c yaitu 25 MPa. Merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Triayana Vivian Wagio Dkk,2023, mengamati bahwasannya ditambahkan limbah *gypsum* dengan kadar 5% dan karbit dengan kadar 8% dan 12% sebagai substitusi pada semen mengalami peningkatan di kuat tekan beton dan nilai maksimum yang diperoleh pada beton pada karbit variasi 12% di semua pengujian. Dapat disimpulkan bahwasannya banyaknya kadar variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit yang ditambahkan maka akan menyebabkan penurunan pada beton tersebut.

5.9 Harga dan Biaya Keseluruhan Campuran

Berdasarkan semua pengujian yang sudah dilakukan berikut merupakan harga dan biaya yang dikeluarkan pada setiap satu campuran dan juga keseluruhan biaya pada campuran beton total adalah sebagai berikut.

Asumsi volume mobil pick up (L300)	$= P \times L \times T$ $= 2,5 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 0,36 \text{ m}$ $= 1,44 \text{ m}^3$
Berat volume pasir	$= 1578 \text{ kg/m}^3$
Berat pasir 1 pick up	$= V \text{ mobil pick up} \times \text{Berat } V_{\text{pasir}}$ $= 1,44 \text{ m}^3 \times 1578 \text{ kg/m}^3$ $= 2272,32 \text{ kg}$
Berat volume kerikil	$= 1258 \text{ kg/cm}^3$
Berat kerikil 1 pick up	$= V \text{ mobil pick up} \times \text{Berat } V_{\text{pasir}}$ $= 1,44 \text{ m}^3 \times 1258 \text{ kg/m}^3$

$$= 1811,52 \text{ kg}$$

$$\text{Harga pasir merapi 1 pick up} = \text{Rp. } 400.000,00$$

$$\text{Harga kerikil clereng 1 pick up} = \text{Rp. } 500.000,00$$

$$\text{Harga semen 1 sak merk tiga roda (40 kg)} = \text{Rp. } 50.000,00$$

1. Harga dan berat pada campuran benda uji beton normal per silinder

$$\text{Agregat halus merapi} = 4,581 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat kasar clereng} = 6,457 \text{ kg}$$

$$\text{Semen merk tiga roda} = 2,608 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat halus} &= \frac{\text{Berat Agregat Halus}}{\text{Jumlah total agregat halus}} \times \text{harga} \\ &= \frac{4,581 \text{ kg}}{2272,32 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 400.000,00 \\ &= \text{Rp. } 806,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat kasar} &= \frac{\text{Berat Agregat Kasar}}{\text{Jumlah total agregat kasar}} \times \text{harga} \\ &= \frac{6,457 \text{ kg}}{1811,52 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 500.000,00 \\ &= \text{Rp. } 1.782,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga semen} &= \frac{\text{Berat Semen}}{\text{Jumlah total semen}} \times \text{harga} \\ &= \frac{2,608 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 50.000,00 \\ &= \text{Rp. } 3.260,00 \end{aligned}$$

2. Harga dan berat pada campuran benda uji beton normal per m³

$$\text{Agregat halus merapi} = 864,030 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat kasar clereng} = 1217,970 \text{ kg}$$

$$\text{Semen merk tiga roda} = 492 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat halus} &= \frac{\text{Berat Agregat Halus}}{\text{Jumlah total agregat halus}} \times \text{harga} \\ &= \frac{864,030 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 400.000,00 \\ &= \text{Rp. } 152.097,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga agregat kasar} &= \frac{\text{Berat Agregat Kasar}}{\text{Jumlah total agregat kasar}} \times \text{harga} \\ &= \frac{1217,970 \text{ kg}}{1000 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 500.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. } 336.173,00 \\
 \text{Harga semen} &= \frac{\text{Berat Semen}}{\text{Jumlah total asemen}} \times \text{harga} \\
 &= \frac{492 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} \times \text{Rp. } 50.000,00 \\
 &= \text{Rp. } 615.000,00
 \end{aligned}$$

Adapun total harga per satu campuran beton normal per silinder dan per m³ variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit dapat ditunjukkan di Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Harga Campuran Beton Normal Per Silinder

Kode Benda Uji	Agregat Halus (Rp)	Agregat Kasar (Rp)	Semen (Rp)	Gypsum (Rp)	Karbit (Rp)	Total Harga (Rp)
BN	806	1.782	3.260	0	0	5.849
TTM-GK ₁	806	1.782	2.739	0	0	5.327
TTM-GK ₂	806	1.782	2.674	0	0	5.262
TTM-GK ₃	806	1.782	2,608	0	0	5.197

Tabel 5.26 Harga Campuran Beton Normal Per m³

Kode Benda Uji	Agregat Halus (Rp)	Agregat Kasar (Rp)	Semen (Rp)	Gypsum (Rp)	Karbit (Rp)	Total Harga (Rp)
BN	152.097	336.173	615.000	0	0	1.103.270
TTM-GK ₁	152.097	336.173	516.600	0	0	1.004.870
TTM-GK ₂	152.097	336.173	504.300	0	0	992.570
TTM-GK ₃	152.097	336.173	492.000	0	0	980.270

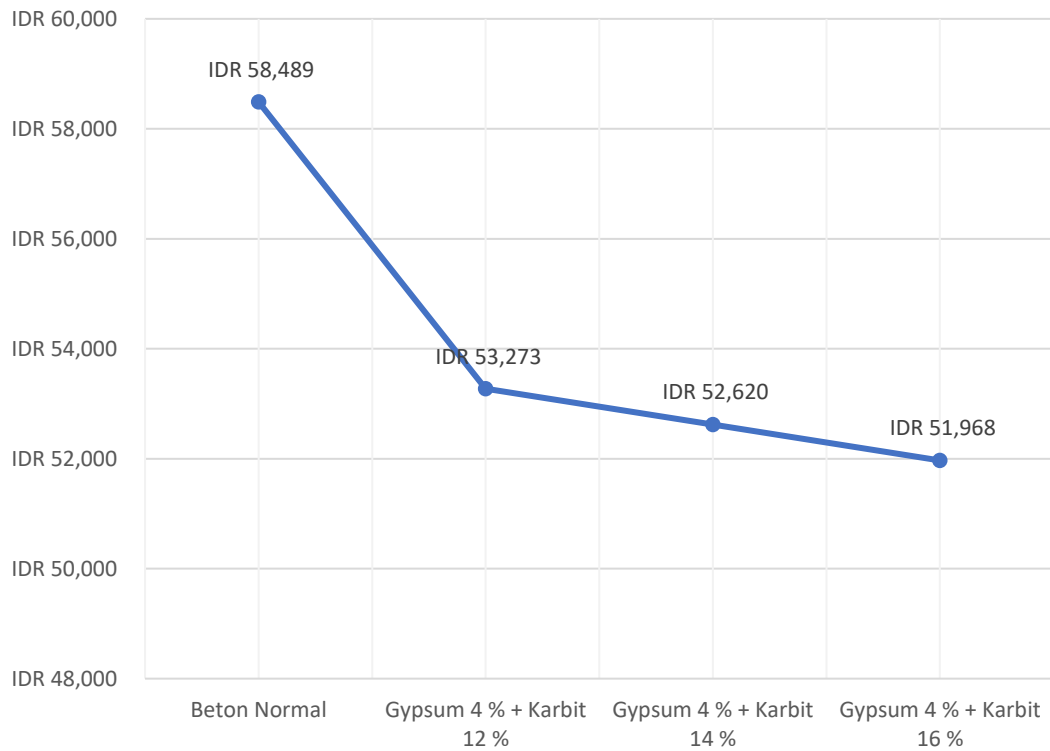
Berdasarkan Tabel 5.25, berikut merupakan total harga keseluruhan campuran sebanyak 40 sampel benda uji sebagai berikut.

1.	BN	= Rp. 5.849,00 x 10 sampel	= Rp. 58.489,00
2.	TTM-GK ₁	= Rp. 5.327,00 x 10 sampel	= Rp. 53.273,00
3.	TTM-GK ₂	= Rp. 5.262,00 x 10 sampel	= Rp. 52.620,00
4.	TTM-GK ₃	= Rp. 5.197,00 x 10 sampel	= Rp. 51.968,00
<hr/>			
	Total		= Rp. 216.351,00

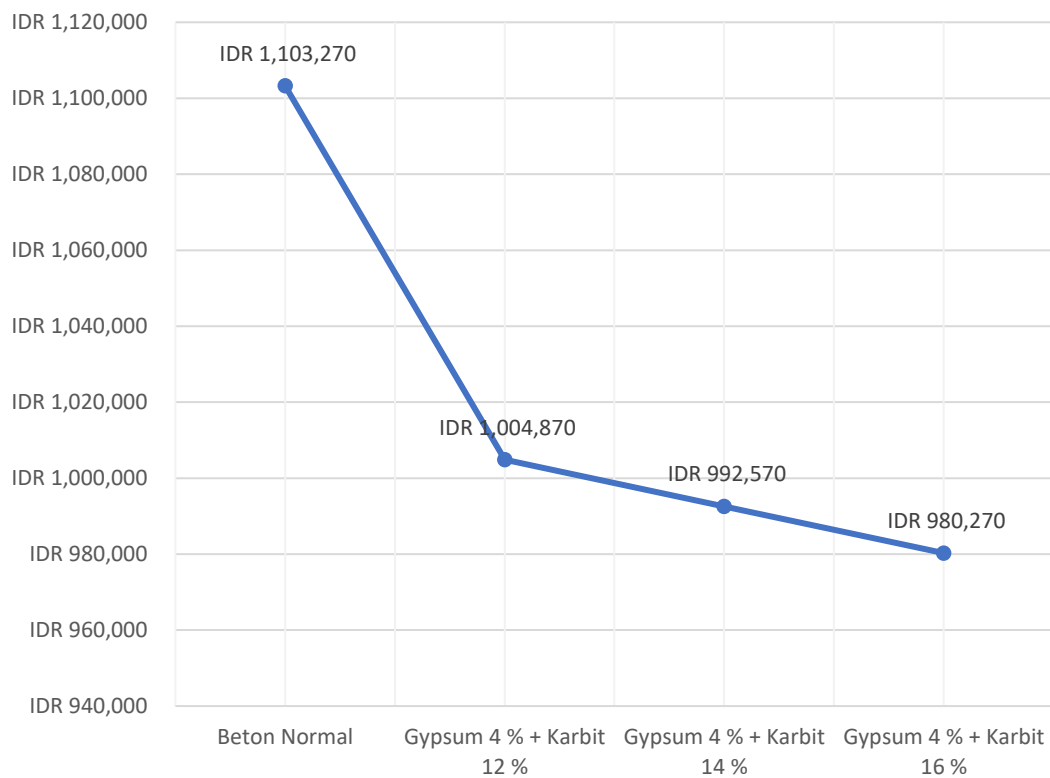
Berdasarkan Tabel 5.26, berikut merupakan total harga keseluruhan campuran per m³ sebagai berikut.

1.	BN	= Rp. 1.103.270
2.	TTM-GK ₁	= Rp. 1.004.870
3.	TTM-GK ₂	= Rp. 992.570
4.	TTM-GK ₃	= Rp. 980.270
<hr/>		
	Total	= Rp. 4.080.980,00

Berdasarkan Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 diperoleh harga dari campuran beton per silinder dan per m³ kemudian di plot ke dalam bentuk grafik untuk melihat persentase dari biaya yang dikeluarkan pada campuran beton dengan penambahan limbah *gypsum* dan karbit bisa ditunjukkan di Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5.19 Grafik Harga Campuran Beton Per Silinder



Gambar 5.20 Grafik Harga Campuran Beton Per m³

Berdasarkan Gambar 5.19 dan Gambar 5.20, didapatkan penurunan pada harga setiap campuran beton dengan penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Adapun penjelasan dari harga beton per silinder dan per m³ dijabarkan sebagai berikut.

- a. Beton normal (BN) memiliki harga per silinder sebesar Rp. 58.489,00 dan harga per m³ sebesar Rp. 1.103.270,00 yang dapat digunakan sebagai acuan harga untuk beton dengan berbagai variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen.
- b. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen (TTM-GK₁) memiliki harga sebesar Rp. 53.273,00 dan harga per m³ sebesar Rp. 1.1004.870,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 8,92% dari harga acuan beton normal sebelumnya.
- c. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 14% sebagai substitusi semen (TTM-GK₂) memiliki harga sebesar Rp. 52.620,00 dan harga per m³ sebesar Rp. 992.570,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 10,03% dari harga acuan beton normal sebelumnya.
- d. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 16% sebagai substitusi semen (TTM-GK₃) memiliki harga sebesar Rp. 51.968,00 dan harga per m³ sebesar Rp. 980.270,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 11,15% dari harga acuan beton normal sebelumnya.

Berdasarkan penjabaran sebelumnya, didapatkan pada campuran beton dengan berbagai variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit dapat mengurangi biaya dan lebih efisien. Terjadi penurunan harga dikarenakan adanya pengurangan semen yang digantikan dengan limbah *gypsum* dan karbit ke dalam campuran beton, akan tetapi pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% bisa digunakan sebagai salah satu alternatif untuk perencanaan campuran dikarenakan memiliki kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas beton sesuai dengan kuat tekan yang rencanakan yaitu 25 MPa daripada variasi limbah *gypsum* dan karbit yang lainnya. hingga bisa dinyatakan bahwasannya beton dengan campuran variasi *gypsum* dan karbit memiliki harga yang ekonomis dan juga lebih efisien dibandingkan dengan harga beton normal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang sudah dilakukan, termasuk analisis dan olah data, yang dibahas dalam bab-bab sebelumnya, membawa poin-poin ke kesimpulan berikut.

1. Substitusi semen dengan limbah *gypsum* dan karbit mempengaruhi kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Beton dengan penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen memiliki kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton masing-masing variasi secara berturut-turut ialah 25,05 MPa, 2,460 MPa, 24799,16 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 12%, 23,89 MPa, 2,306 MPa, 24578,95 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 14%, 21,23 MPa, 2,007 MPa, 23506,00 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 16%. Didapatkan nilai optimum adalah pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% dan terendah pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 16%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen ternyata menurunkan kuat tekan, tarik belah, dan modulus beton. Artinya semakin banyak *gypsum* dan karbit yang ditambahkan pada beton hanya akan menurunkan mutu beton tersebut.
2. Variasi maksimal yang didapatkan pada penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen yakni variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% di umur 28 hari yakni dari segi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton adalah 25,05 MPa, 2,460 MPa, dan 23542,20 MPa. Begitu juga penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Triayana Vivian Wagio Dkk,2023), mengamati bahwasannya ditambakkannya limbah *gypsum* dengan kadar 5% dan karbit dengan kadar 8% dan 12% sebagai substitusi pada semen mengalami peningkatan pada kuat tarik belah beton dan nilai maksimum diperoleh di beton dengan *gypsum* 5% dan karbit variasi 12%.
3. Pada harga biaya produksi campuran beton untuk beton normal memiliki harga per m³ sebesar Rp. 1.103.270,00 yang dapat digunakan sebagai acuan

harga untuk beton dengan berbagai variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen (TTM-GK₁) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 1.004.870,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 8,92% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 14% sebagai substitusi semen (TTM-GK₂) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 992.570,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 10,03% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 16% sebagai substitusi semen (TTM-GK₃) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 980.270,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 11,15% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa harga biaya produksi campuran beton pada penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit lebih terjangkau dan lebih ekonomis daripada harga untuk beton normal.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut ialah beberapa saran yang bisa dijadikan referensi penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penggunaan *gypsum* dan karbit sebagai pengganti semen pada campuran beton:

1. Perlu dilakukan pengkajian uji beton yang lain seperti kuat lentur beton untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen.
2. Perlu melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen di umur 3, 7, 14, dan 21 hari.
3. Diperlukan adanya kajian lebih lanjut tentang kandungan di dalam *gypsum* dan karbit.
4. Diperhatikan juga bahwasannya jenis agregat halus yang digunakan hanya sebatas pasir merapi dan bisa digunakan jenis agregat halus lain seperti pasir progo dan lain sebagainya atau pada jenis agregat kasar yang digunakan

hanya sebatas kerikil clereng dan bisa digunakan jenis agregat halus lain seperti kerikil merapi, koral dan lain sebagainya.

5. Perlu mengkaji tentang berat jenis *gypsum* dan karbit.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *SNI-03-1968-1990 Pengujian Tentang Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *SNI-03-1969-1990 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *SNI-03-1970-1990 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *SNI-03-4142-1996 Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *SNI-03-4169-1996 Pengujian Modulus Elastisitas Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). *SNI-03-4804-1998 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). *SNI-03-4810-1998 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). *SNI-03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI-03-2491-2002 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI-15-2049-2004 Semen Portland*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1973-2008 Cara Uji Berat isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 2458-2008 Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Beton Segar*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. BSN.go.id.

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Beton Untukl Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 8321-2016 Spesifikasi Agregat Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung* . BSN.go.id.
- Daniel Surgawi, F. P. (2022). Pengaruh Sandblasting dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Campuran Beton. *Volume 4 Issue 2, Juni 2022*, 4, 234-241.
- Didik Hadi Prayogo, A. R. (2019). Pemanfaatan Limbah Gypsum Board dan Batu Bata Merah Untuk Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton. *Vol. 2, No. 2 Oktober 2019*, 2, 333-342.
- Fauzan Hamdi, F. E. (2022). *Teknologi Beton*. Makassar: Tohar Media.
- Heru Sugianto, L. Z. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Sekam Padi dan Serbuk Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Vol. 01, No. 01, Maret 2020*, 1, 133-140.
- I Gede Raditya Lalita, A. S. (2023). Analisa Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Semen Terhadap Peforma Beton Normal. *Volume 4, Nomor 1, Maret 2023*, 4, 147-153.
- Liberty Juniasy Somalinggi, F. P. (2020). Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Karbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton. *Volume 2 No.4, Desember 2020*, 2, 289-297.
- Nindya Rossavina Dewi, D. D. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit dan Fly Ash Sebagai Bahan Campur Beton Siap Pakai (BSP). *Vol. 13 No.1 Maret 2016*, 13, 34-43.
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta.
- Rafki Imani, W. P. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton. *Volume 2 No.1 Maret 2020*, 15, 1-12.
- Sahat Martua Sihombing, I. d. (2023). Analisis Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Beton. *VOL. 9 NO. 02 OKTOBER 2023*, 9, 65-72.
- Triyana Vivin Wagio, J. T. (2023). Penggunaan Limbah Gypsum dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton. *Volume 5 Issue 1, Maret 2023*, 5, 161-173.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Bebas Tanggungan Laboratorium



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 125/Ka.Lab/60/LBKT/X/2024

Bismillahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII
Dengan ini menerangkan bahwa :
Nama : ZULFA IZZATURROFIQ
NIM : 19511168
Program Studi : S1 Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing TA : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
Instansi : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH GYPSUM DAN LIMBAH KARBIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya".

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 07 Oktober 2024

Diperiksa oleh :
Kepala Laboratorium BKT,

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

Di data oleh :
PLP/Teknisi

Win Fauzi Ahmadi, S.Tr.T.

Lampiran 2 Rekap Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI-03-1968-1990)

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	494	493	493,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	977	981	979
Berat piknometer berisi air, gram (B)	665	672	668,5
Berat jenis curah (<i>bulk</i>), gram	2,628	2,581	2,604
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), gram	2,660	2,618	2,639
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>), gram	2,714	2,679	2,697
Penyerapan air (<i>Absorption</i>), %	1,215 %	1,420 %	1,317 %

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS
(SNI-03-1970-1990)**

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1

<u>Lubang</u> <u>Avakan</u> (mm)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (gram)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (%)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> <u>Kumulatif</u> (%)	<u>Persen Lolos</u> <u>Kumulatif</u> (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	13	0,650	0,650	99,350
2,4	211	10,555	11,206	88,794
1,2	533	26,663	37,869	62,131
0,6	468	23,412	61,281	38,719
0,3	342	17,109	78,389	21,611
0,15	247	12,356	90,745	9,255
Pan	185	9,255	100	0
<u>Jumlah</u>	1999	100	280,140	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{280,140}{100} = 2,801$$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	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

Keterangan:

Gradasi agregat halus I : Pasir Kasar

Gradasi agregat halus II : Pasir Agak Kasar

Gradasi agregat halus III : Pasir Agak Halus

Gradasi agregat halus IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

Diperiksa Oleh:

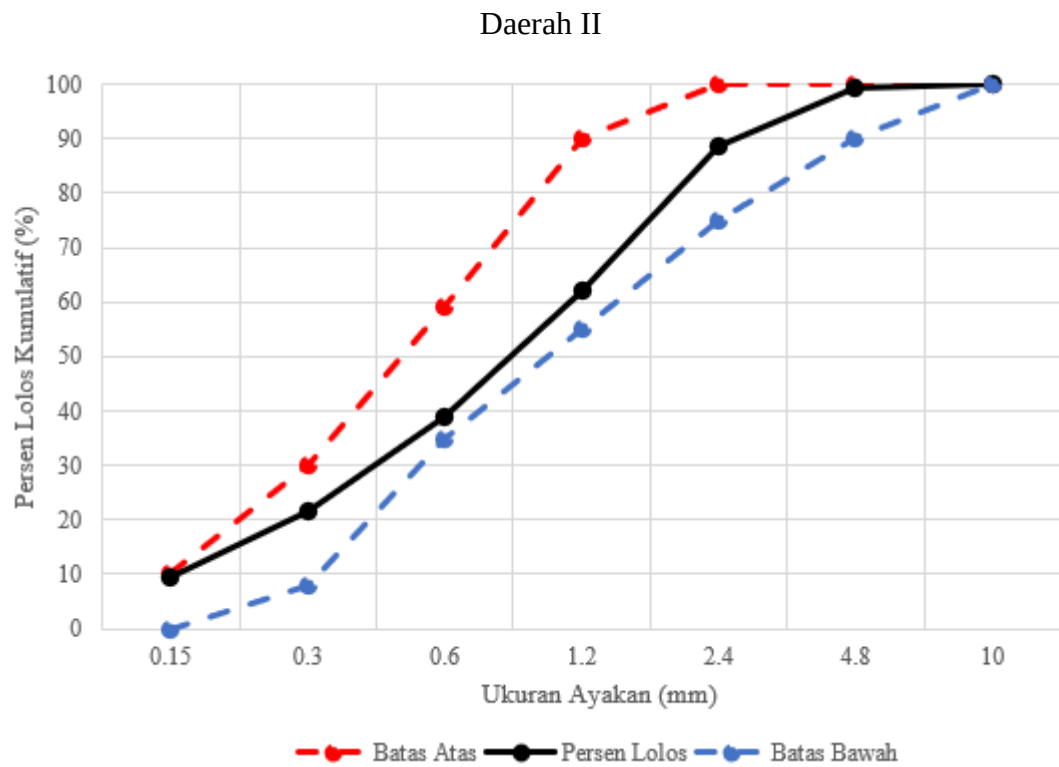
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS
(SNI-03-1970-1990)**

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	2

<u>Lubang</u> <u>Avakan</u> (mm)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (gram)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (%)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> <u>Kumulatif</u> (%)	<u>Persen Lolos</u> <u>Kumulatif</u> (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	12	0,601	0,601	99,399
2,4	239	11,962	12,563	87,437
1,2	507	25,375	37,938	62,062
0,6	430	21,522	59,459	40,541
0,3	312	15,616	75,075	24,925
0,15	302	15,115	90,190	9,810
Pan	196	9,810	100	0
<u>Jumlah</u>	1998	100	275,826	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{275,826}{100} = 2,758$$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	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

Keterangan:

Gradasi agregat halus I : Pasir Kasar

Gradasi agregat halus II : Pasir Agak Kasar

Gradasi agregat halus III : Pasir Agak Halus

Gradasi agregat halus IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

Diperiksa Oleh:

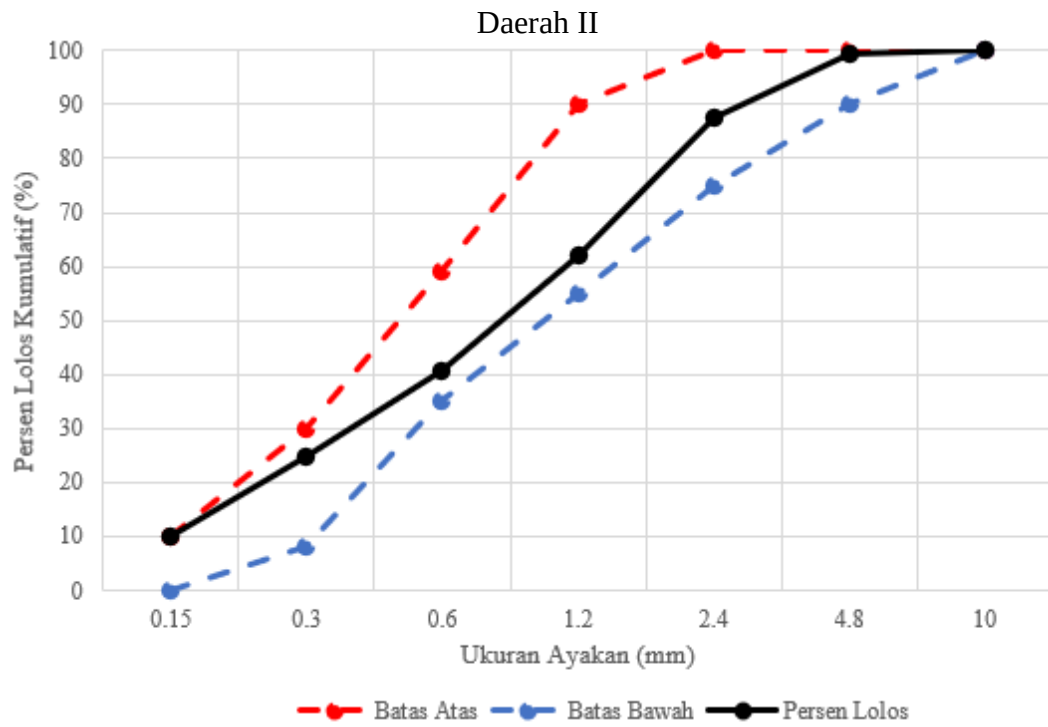
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2



Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

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

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter cetakan cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan cm (T)	30,10	30,10	30,10
Berat cetakan gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	19670	19702	19686
Berat agregat gram (W ₃)	8338	8335	8336,5
Volume cetakan gram (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat volume gembur gram/cm ³	1,578	1,577	1,578

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8336,5}{5283,707} \\
 &= 1,578 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

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

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,10	30,10	30,10
Berat cetakan, gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	21018	21092	21055
Berat agregat, gram (W ₃)	9686	9725	9705,5
Volume cetakan, gram (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,833	1,841	1,837

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{9705,5}{5283,707} \\
 &= 1,837 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh:
 Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

**PEMERIKSAAN UJI KANDUNGAN LUMPUR YANG LOLOS AYAKAN
NO.200 AGREGAT HALUS
(SNI-03-4142-1996)**

Jenis Pasir	Merapi
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat agregat kering oven, cm (W ₁)	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci, cm (W ₂)	485	487	486
Persentase yang lolos ayakan No. 200, %	3 %	2,60 %	2,80 %

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Lumpur dalam Pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 486}{500} \times 100\% \\
 &= 2,80\%
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

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

Jenis Kerikil	Clereng
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4926	4920	4923
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082	3072	3077
Berat jenis curah (<i>bulk</i>), gram	2,568	2,552	2,560
Berat jenis jenuh kering muka (SSD), gram	2,607	2,593	2,600
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>), gram	2,671	2,662	2,667
Penyerapan air (<i>Absorption</i>), %	1,502 %	1,626 %	1,564 %

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR
(SNI-03-1968-1990)**

Jenis Kerikil	Clereng
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1

<u>Lubang</u> <u>Avakan</u> (mm)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (gram)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (%)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> <u>Kumulatif</u> (%)	<u>Persen Lolos</u> <u>Kumulatif</u> (%)
40	0	0	0	100
20	37	0,740	0,740	99,260
10	3606	72,106	72,845	27,155
4,8	1293	25,855	98,700	1,300
2,4	30	0,600	99,300	0,700
1,2	5	0,100	99,400	0,600
0,6	0	0	99,400	0,600
0,3	0	0	99,400	0,600
0,15	0	0	99,400	0,600
Pan	30	0,600	100	0
<u>Jumlah</u>	5001	100	669,186	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{669,186}{100} = 6,692$$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

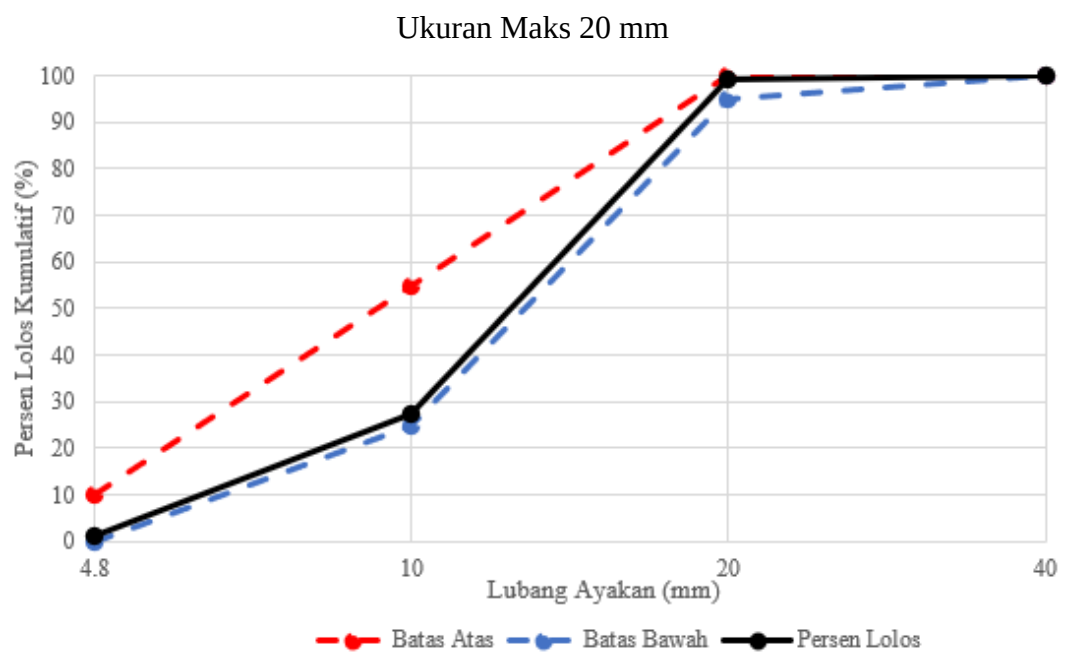
Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

Gradasi Agregat Kasar

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

Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1



Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR
(SNI-03-1968-1990)**

Jenis Kerikil	Clereng
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	2

<u>Lubang</u> <u>Avakan</u> (mm)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (gram)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> (%)	<u>Berat</u> <u>Tertinggal</u> <u>Kumulatif</u> (%)	<u>Persen Lolos</u> <u>Kumulatif</u> (%)
40	0	0	0	100
20	21	0,419	0,419	99,581
10	3676	73,388	73,807	26,193
4,8	1234	24,636	98,443	1,557
2,4	17	0,339	98,782	1,218
1,2	4	0,080	98,862	1,138
0,6	0	0	98,862	1,138
0,3	0	0	98,862	1,138
0,15	0	0	98,862	1,138
Pan	57	1,138	100	0
<u>Jumlah</u>	5009	100	666,900	

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{666,900}{100} = 6,669$$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

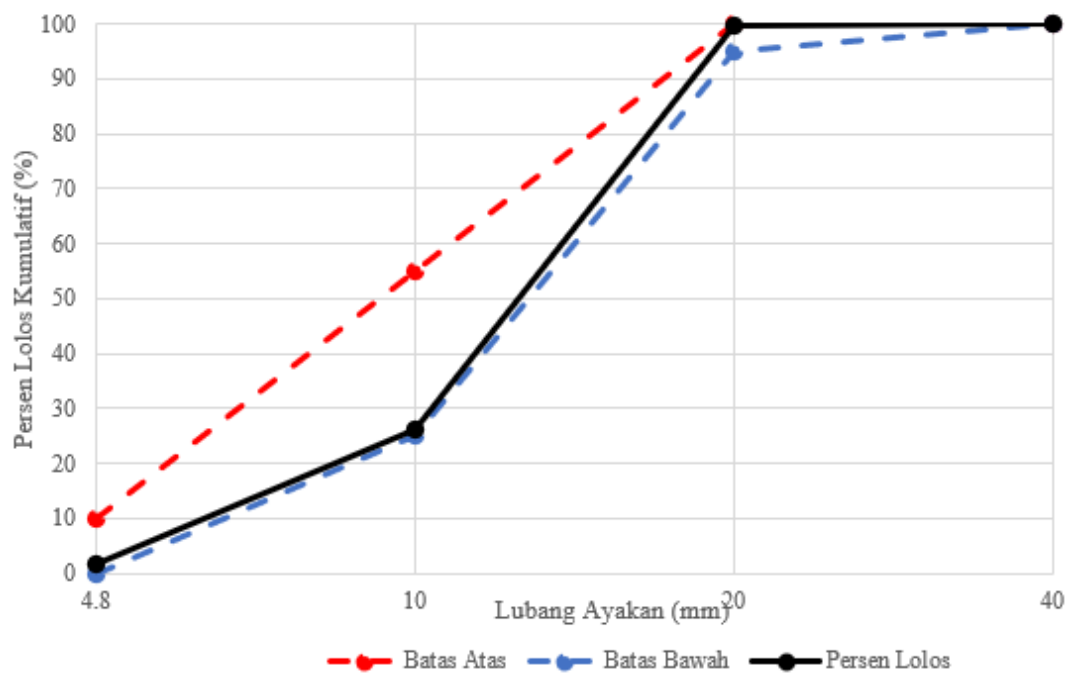
(Zulfa Izzaturrofiq)

Gradasi Agregat Kasar

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

Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Ukuran Maks 20 mm



Diperiksa Oleh:
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Zulfa Izzaturrofiq)

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

Jenis Kerikil	Clereng
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,11	30,11	30,11
Berat cetakan, gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	17898	18102	18000
Berat agregat, gram (W ₃)	6566	6735	6650,5
Volume cetakan, gram (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,242	1,274	1,258

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{6650,5}{5285,463} \\
 &= 1,258 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Dikerjakan oleh:

(Zulfa Izzaturrofiq)

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

Jenis Kerikil	Clereng
Kebutuhan	Tugas Akhir
Sampel	1 & 2

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter cetakan, cm (D)	14,95	14,95	14,95
Tinggi cetakan, cm (T)	30,11	30,11	30,11
Berat cetakan, gram (W ₁)	11332	11367	11349,5
Berat cetakan + agregat SSD, gram (W ₂)	18947	18979	18963
Berat agregat, gram (W ₃)	7615	7612	7613,5
Volume cetakan, gram (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat volume gembur, gram/cm ³	1,441	1,440	1,440

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7613,5}{5285,463} \\
 &= 1,440 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh:
 Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Zulfa Izzaturrofiq)

Lampiran 3 Rekap Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton Metode (SNI-03-2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar Deviasi	7	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Batu alam	
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Faktor air semen digunakan	0,5	
9	Slump	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	FAS disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,639	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,600	
19	Persen agregat halus	41,5	%
20	Persen agregat kasar	58,5	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,616	
22	Berat isi Beton	2350	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1735	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	720,025	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1014,975	kg/m ³
26	Proporsi campuran material teoritis per m ³		
	Semen	410	kg/m ³
	Air	205	kg/m ³
	Agregat halus	720,025	kg/m ³
	Agregat kasar	1014,98	kg/m ³
27	Proporsi campuran dengan angka penyusutan 20% per m ³		
	Semen	492	kg/m ³
	Air	246	kg/m ³
	Agregat halus	864,030	kg/m ³
	Agregat kasar	1217,970	kg/m ³

Lampiran 4 Rekap Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar Gypsum & Karbit	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang	Beban Maks	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
0%	BN ₁	151,600	302,350	18050,460	445,152	24,662	25,44
	BN ₂	150,750	301,300	17848,615	446,750	25,030	
	BN ₃	149,900	300,700	17647,905	465,868	26,398	
	BN ₄	151,500	302,450	18026,655	460,486	25,545	
	BN ₅	150,500	301,600	17789,465	455,039	25,579	
4% + 12%	TTM-GK ₁	152,000	304,400	18145,839	445,221	24,536	25,05
	TTM-GK ₂	150,750	302,750	17848,615	443,325	24,838	
	TTM-GK ₃	150,100	301,100	17695,028	448,087	25,323	
	TTM-GK ₄	150,050	302,900	17683,242	440,370	24,903	
	TTM-GK ₅	152,000	304,000	18145,839	455,890	25,124	
4% + 14%	TTM-GK ₁	153,000	304,000	18385,386	449,900	24,471	23,89
	TTM-GK ₂	152,100	304,400	18169,723	468,800	25,801	
	TTM-GK ₃	149,700	302,800	17600,844	446,700	25,379	
	TTM-GK ₄	151,350	300,400	17990,976	395,000	21,955	
	TTM-GK ₅	150,100	303,000	17695,028	386,100	21,820	
4% + 16%	TTM-GK ₁	150,750	304,400	17848,615	388,800	21,783	21,23
	TTM-GK ₂	150,100	303,000	17695,028	376,175	21,259	
	TTM-GK ₃	150,600	304,800	17813,113	385,000	21,613	
	TTM-GK ₄	152,450	301,350	18253,441	365,425	20,020	
	TTM-GK ₅	150,250	301,700	17730,413	380,425	21,456	

Lampiran 5 Rekap Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kadar Gypsum & Karbit	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut	Beban Maks	Kuat Tarik	Kuat Tarik Rerata
0%	BN ₆	151,650	307,700	146595,211	190	2,592	2,640
	BN ₇	150,200	302,200	142598,273	194	2,721	
	BN ₈	151,800	301,900	143974,228	181	2,514	
	BN ₉	149,800	301,200	141747,907	189	2,667	
	BN ₁₀	151,750	305,400	145595,384	197	2,706	
4% + 12%	TTM-GK ₆	151,200	303,800	144307,676	182	2,522	2,405
	TTM-GK ₇	150,200	302,900	142928,580	178	2,491	
	TTM-GK ₈	151,300	302,100	143595,069	166	2,312	
	TTM-GK ₉	150,250	301,300	142220,920	181	2,545	
	TTM-GK ₁₀	150,750	300,720	142419,516	173	2,429	
4% + 14%	TTM-GK ₆	150,200	304,000	143447,634	172	2,398	2,306
	TTM-GK ₇	150,035	302,000	142347,354	160	2,248	
	TTM-GK ₈	149,500	300,000	140900,431	158	2,243	
	TTM-GK ₉	150,500	300,250	141961,111	167	2,353	
	TTM-GK ₁₀	150,900	302,350	143333,955	164	2,288	
4% + 16%	TTM-GK ₆	149,600	304,200	142968,604	145	2,028	2,007
	TTM-GK ₇	150,700	300,500	142268,123	140	1,968	
	TTM-GK ₈	151,100	302,150	143428,988	138	1,924	
	TTM-GK ₉	150,000	303,300	142926,758	149	2,085	
	TTM-GK ₁₀	152,000	303,700	145023,457	147	2,027	

Lampiran 6 Rekap Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 1

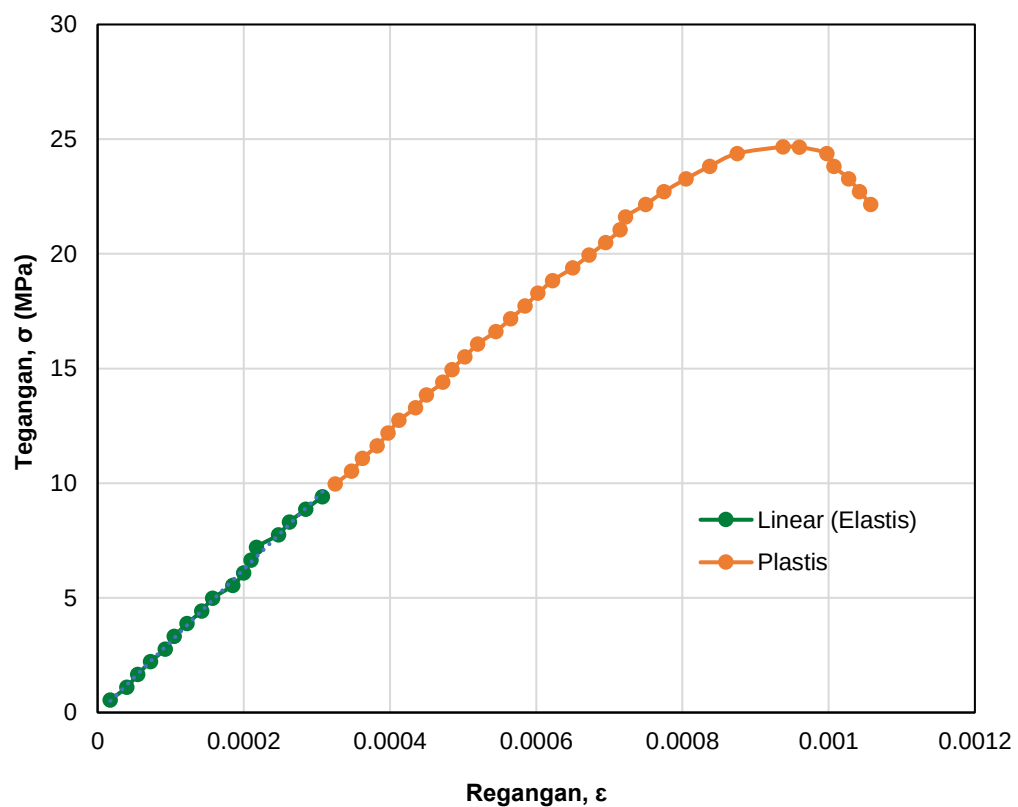
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	0%
Kadar Karbit	0%
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,662 MPa
Diameter	151,600 mm
Tinggi	302,350 mm
Luas	18050,460 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	7	0,003500	0,0000175	0,554
20	20000	16	0,008000	0,0000400	1,108
30	30000	22	0,011000	0,0000550	1,662
40	40000	29	0,014500	0,0000725	2,216
50	50000	37	0,018500	0,0000925	2,770
60	60000	42	0,021000	0,0001050	3,324
70	70000	49	0,024500	0,0001225	3,878
80	80000	57	0,028500	0,0001425	4,432
90	90000	63	0,031500	0,0001575	4,986
100	100000	74	0,037000	0,0001850	5,540
110	110000	80	0,040000	0,0002000	6,094
120	120000	84	0,042000	0,0002100	6,648
130	130000	87	0,043500	0,0002175	7,202

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
140	140000	99	0,049500	0,0002475	7,756
150	150000	105	0,052500	0,0002625	8,310
160	160000	114	0,057000	0,0002850	8,864
170	170000	123	0,061500	0,0003075	9,418
180	180000	130	0,065000	0,0003250	9,972
190	190000	139	0,069500	0,0003475	10,526
200	200000	145	0,072500	0,0003625	11,080
210	210000	153	0,076500	0,0003825	11,634
220	220000	159	0,079500	0,0003975	12,188
230	230000	165	0,082500	0,0004125	12,742
240	240000	174	0,087000	0,0004350	13,296
250	250000	180	0,090000	0,0004500	13,850
260	260000	189	0,094500	0,0004725	14,404
270	270000	194	0,097000	0,0004850	14,958
280	280000	201	0,100500	0,0005025	15,512
290	290000	208	0,104000	0,0005200	16,066
300	300000	218	0,109000	0,0005450	16,620
310	310000	226	0,113000	0,0005650	17,174
320	320000	234	0,117000	0,0005850	17,728
330	330000	241	0,120500	0,0006025	18,282
340	340000	249	0,124500	0,0006225	18,836
350	350000	260	0,130000	0,0006500	19,390
360	360000	269	0,134500	0,0006725	19,944
370	370000	278	0,139000	0,0006950	20,498
380	380000	286	0,143000	0,0007150	21,052
390	390000	289	0,144500	0,0007225	21,606
400	400000	300	0,150000	0,0007500	22,160

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
410	410000	310	0,155000	0,0007750	22,714
420	420000	322	0,161000	0,0008050	23,268
430	430000	335	0,167500	0,0008375	23,822
440	440000	350	0,175000	0,0008750	24,376
445,152	445152	375	0,187500	0,0009375	24,662
445	445000	384	0,192000	0,0009600	24,653
440	440000	399	0,199500	0,0009975	24,376
430	430000	403	0,201500	0,0010075	23,822
420	420000	411	0,205500	0,0010275	23,268
410	410000	417	0,208500	0,0010425	22,714
400	400000	423	0,211500	0,0010575	22,160

Modulus Elastisitas Beton Normal Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 2

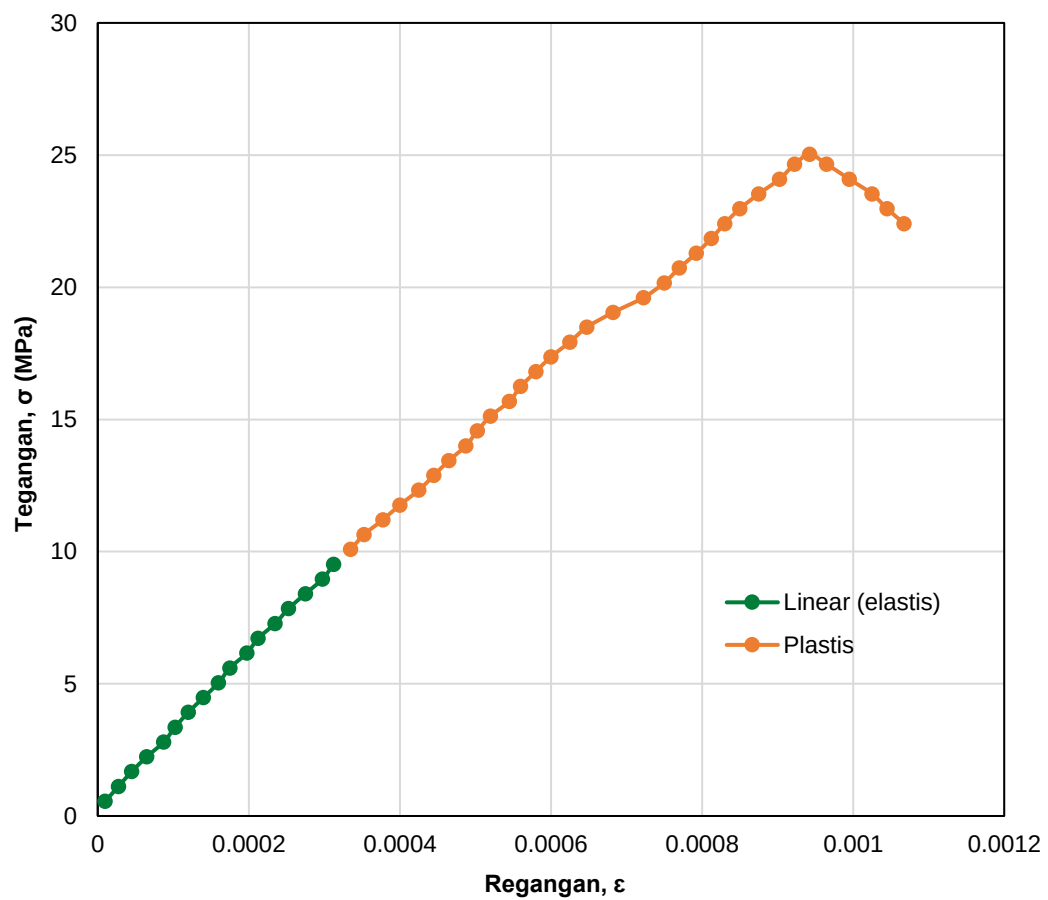
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	0%
Kadar Karbit	0%
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,030 MPa
Diameter	150,750 mm
Tinggi	301,300 mm
Luas	17848,615 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,560
20	20000	11	0,0055000	0,0000275	1,121
30	30000	18	0,0090000	0,0000450	1,681
40	40000	26	0,0130000	0,0000650	2,241
50	50000	35	0,0175000	0,0000875	2,801
60	60000	41	0,0205000	0,0001025	3,362
70	70000	48	0,0240000	0,0001200	3,922
80	80000	56	0,0280000	0,0001400	4,482
90	90000	64	0,0320000	0,0001600	5,042
100	100000	70	0,0350000	0,0001750	5,603
110	110000	79	0,0395000	0,0001975	6,163
120	120000	85	0,0425000	0,0002125	6,723
130	130000	94	0,0470000	0,0002350	7,283
140	140000	101	0,0505000	0,0002525	7,844
150	150000	110	0,0550000	0,0002750	8,404

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	119	0,0595000	0,0002975	8,964
170	170000	125	0,0625000	0,0003125	9,525
180	180000	134	0,0670000	0,0003350	10,085
190	190000	141	0,0705000	0,0003525	10,645
200	200000	151	0,0755000	0,0003775	11,205
210	210000	160	0,0800000	0,0004000	11,766
220	220000	170	0,0850000	0,0004250	12,326
230	230000	178	0,0890000	0,0004450	12,886
240	240000	186	0,0930000	0,0004650	13,446
250	250000	195	0,0975000	0,0004875	14,007
260	260000	201	0,1005000	0,0005025	14,567
270	270000	208	0,1040000	0,0005200	15,127
280	280000	218	0,1090000	0,0005450	15,687
290	290000	224	0,1120000	0,0005600	16,248
300	300000	232	0,1160000	0,0005800	16,808
310	310000	240	0,1200000	0,0006000	17,368
320	320000	250	0,1250000	0,0006250	17,929
330	330000	259	0,1295000	0,0006475	18,489
340	340000	273	0,1365000	0,0006825	19,049
350	350000	289	0,1445000	0,0007225	19,609
360	360000	300	0,1500000	0,0007500	20,170
370	370000	308	0,1540000	0,0007700	20,730
380	380000	317	0,1585000	0,0007925	21,290
390	390000	325	0,1625000	0,0008125	21,850
400	400000	332	0,1660000	0,0008300	22,411
410	410000	340	0,1700000	0,0008500	22,971
420	420000	350	0,1750000	0,0008750	23,531

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	361	0,1805000	0,0009025	24,092
440	440000	369	0,1845000	0,0009225	24,652
446,75	446750	377	0,1885000	0,0009425	25,030
440	440000	386	0,1930000	0,0009650	24,652
430	430000	398	0,1990000	0,0009950	24,092
420	420000	410	0,2050000	0,0010250	23,531
410	410000	418	0,2090000	0,0010450	22,971
400	400000	427	0,2135000	0,0010675	22,411

Modulus Elastisitas Beton Normal Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 3

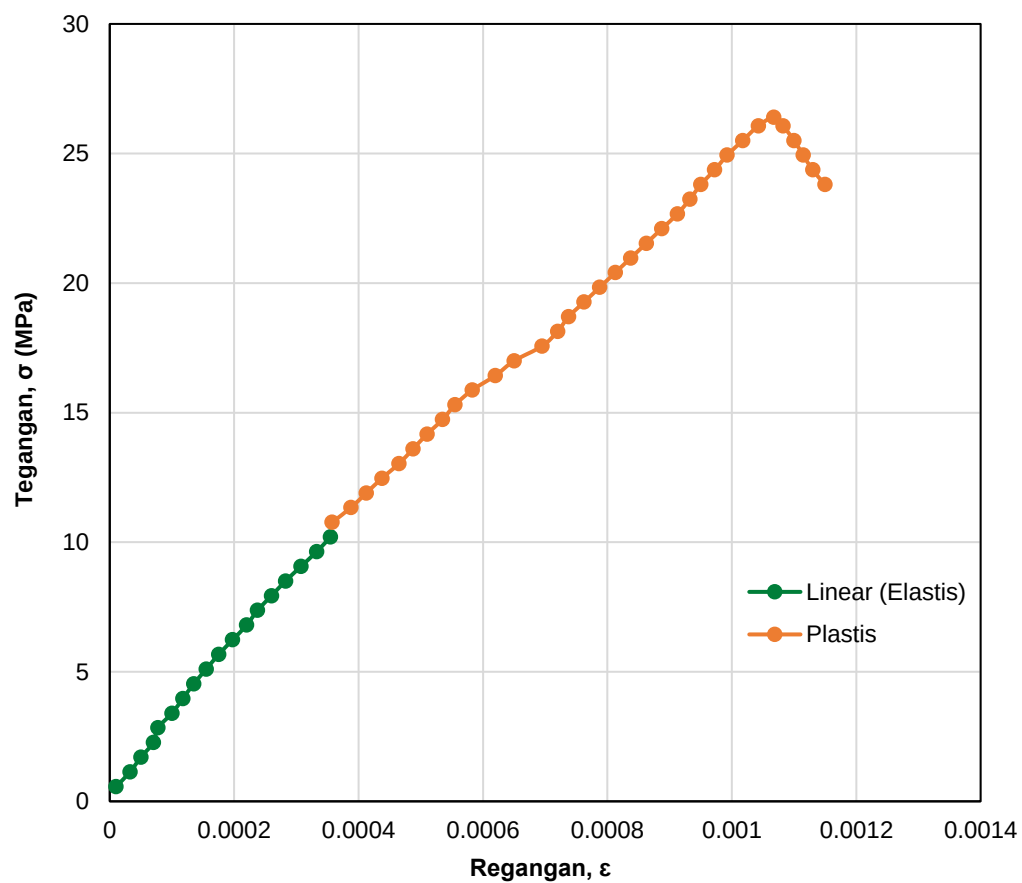
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	0%
Kadar Karbit	0%
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,398 MPa
Diameter	149,900 mm
Tinggi	300,700 mm
Luas	17647,905 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,567
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,133
30	30000	20	0,0100000	0,0000500	1,700
40	40000	28	0,0140000	0,0000700	2,267
50	50000	31	0,0155000	0,0000775	2,833
60	60000	40	0,0200000	0,0001000	3,400
70	70000	47	0,0235000	0,0001175	3,966
80	80000	54	0,0270000	0,0001350	4,533
90	90000	62	0,0310000	0,0001550	5,100
100	100000	70	0,0350000	0,0001750	5,666
110	110000	79	0,0395000	0,0001975	6,233
120	120000	88	0,0440000	0,0002200	6,800
130	130000	95	0,0475000	0,0002375	7,366
140	140000	104	0,0520000	0,0002600	7,933
150	150000	113	0,0565000	0,0002825	8,500

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	123	0,0615000	0,0003075	9,066
170	170000	133	0,0665000	0,0003325	9,633
180	180000	142	0,0710000	0,0003550	10,200
190	190000	143	0,0715000	0,0003575	10,766
200	200000	155	0,0775000	0,0003875	11,333
210	210000	165	0,0825000	0,0004125	11,899
220	220000	175	0,0875000	0,0004375	12,466
230	230000	186	0,0930000	0,0004650	13,033
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,599
250	250000	204	0,1020000	0,0005100	14,166
260	260000	214	0,1070000	0,0005350	14,733
270	270000	222	0,1110000	0,0005550	15,299
280	280000	233	0,1165000	0,0005825	15,866
290	290000	248	0,1240000	0,0006200	16,433
300	300000	260	0,1300000	0,0006500	16,999
310	310000	278	0,1390000	0,0006950	17,566
320	320000	288	0,1440000	0,0007200	18,132
330	330000	295	0,1475000	0,0007375	18,699
340	340000	305	0,1525000	0,0007625	19,266
350	350000	315	0,1575000	0,0007875	19,832
360	360000	325	0,1625000	0,0008125	20,399
370	370000	335	0,1675000	0,0008375	20,966
380	380000	345	0,1725000	0,0008625	21,532
390	390000	355	0,1775000	0,0008875	22,099
400	400000	365	0,1825000	0,0009125	22,666
410	410000	373	0,1865000	0,0009325	23,232
420	420000	380	0,1900000	0,0009500	23,799

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	389	0,1945000	0,0009725	24,365
440	440000	397	0,1985000	0,0009925	24,932
450	450000	407	0,2035000	0,0010175	25,499
460	460000	417	0,2085000	0,0010425	26,065
465,868	465868	427	0,2135000	0,0010675	26,398
460	460000	433	0,2165000	0,0010825	26,065
450	450000	440	0,2200000	0,0011000	25,499
440	440000	446	0,2230000	0,0011150	24,932
430	430000	452	0,2260000	0,0011300	24,365
420	420000	460	0,2300000	0,0011500	23,799

Modulus Elastisitas Beton Normal Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 4

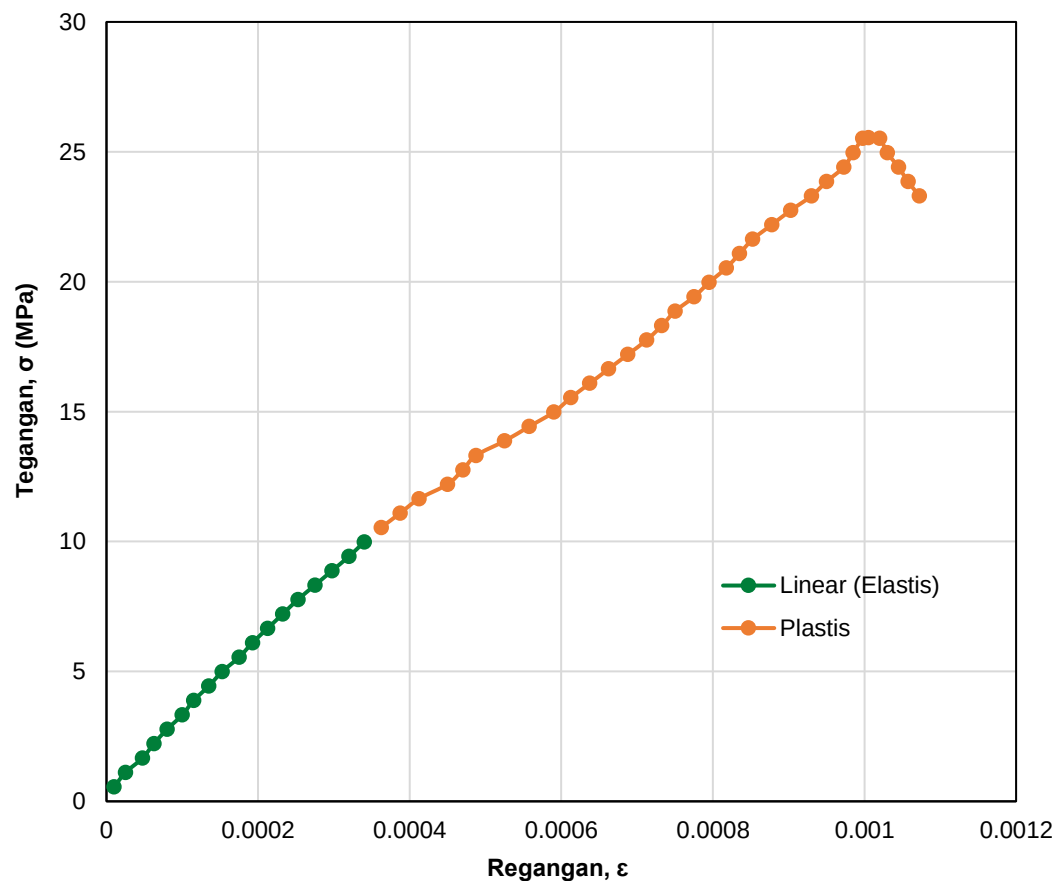
Data <u>Sampel</u>	
Kadar <u>Gypsum</u>	0%
Kadar <u>Karbit</u>	0%
No. <u>Sampel</u>	4
<u>Mutu Beton Rencana</u>	25 MPa
<u>Mutu Beton Hasil Uji</u>	25,545 MPa
Diameter	151,500 mm
Tinggi	302,450 mm
Luas	18026,655 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,555
20	20000	10	0,0050000	0,0000250	1,109
30	30000	19	0,0095000	0,0000475	1,664
40	40000	25	0,0125000	0,0000625	2,219
50	50000	32	0,0160000	0,0000800	2,774
60	60000	40	0,0200000	0,0001000	3,328
70	70000	46	0,0230000	0,0001150	3,883
80	80000	54	0,0270000	0,0001350	4,438
90	90000	61	0,0305000	0,0001525	4,993
100	100000	70	0,0350000	0,0001750	5,547
110	110000	77	0,0385000	0,0001925	6,102
120	120000	85	0,0425000	0,0002125	6,657
130	130000	93	0,0465000	0,0002325	7,212
140	140000	101	0,0505000	0,0002525	7,766
150	150000	110	0,0550000	0,0002750	8,321

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	119	0,0595000	0,0002975	8,876
170	170000	128	0,0640000	0,0003200	9,430
180	180000	136	0,0680000	0,0003400	9,985
190	190000	145	0,0725000	0,0003625	10,540
200	200000	155	0,0775000	0,0003875	11,095
210	210000	165	0,0825000	0,0004125	11,649
220	220000	180	0,0900000	0,0004500	12,204
230	230000	188	0,0940000	0,0004700	12,759
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,314
250	250000	210	0,1050000	0,0005250	13,868
260	260000	223	0,1115000	0,0005575	14,423
270	270000	236	0,1180000	0,0005900	14,978
280	280000	245	0,1225000	0,0006125	15,533
290	290000	255	0,1275000	0,0006375	16,087
300	300000	265	0,1325000	0,0006625	16,642
310	310000	275	0,1375000	0,0006875	17,197
320	320000	285	0,1425000	0,0007125	17,751
330	330000	293	0,1465000	0,0007325	18,306
340	340000	300	0,1500000	0,0007500	18,861
350	350000	310	0,1550000	0,0007750	19,416
360	360000	318	0,1590000	0,0007950	19,970
370	370000	327	0,1635000	0,0008175	20,525
380	380000	334	0,1670000	0,0008350	21,080
390	390000	341	0,1705000	0,0008525	21,635
400	400000	351	0,1755000	0,0008775	22,189
410	410000	361	0,1805000	0,0009025	22,744
420	420000	372	0,1860000	0,0009300	23,299

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	380	0,1900000	0,0009500	23,854
440	440000	389	0,1945000	0,0009725	24,408
450	450000	394	0,1970000	0,0009850	24,963
460	460000	399	0,1995000	0,0009975	25,518
460,486	460486	402	0,2010000	0,0010050	25,545
460	460000	408	0,2040000	0,0010200	25,518
450	450000	412	0,2060000	0,0010300	24,963
440	440000	418	0,2090000	0,0010450	24,408
430	430000	423	0,2115000	0,0010575	23,854
420	420000	429	0,2145000	0,0010725	23,299

Modulus Elastisitas Beton Normal Sampel 4



Modulus Elastisitas Beton Normal (BN) Sampel 5

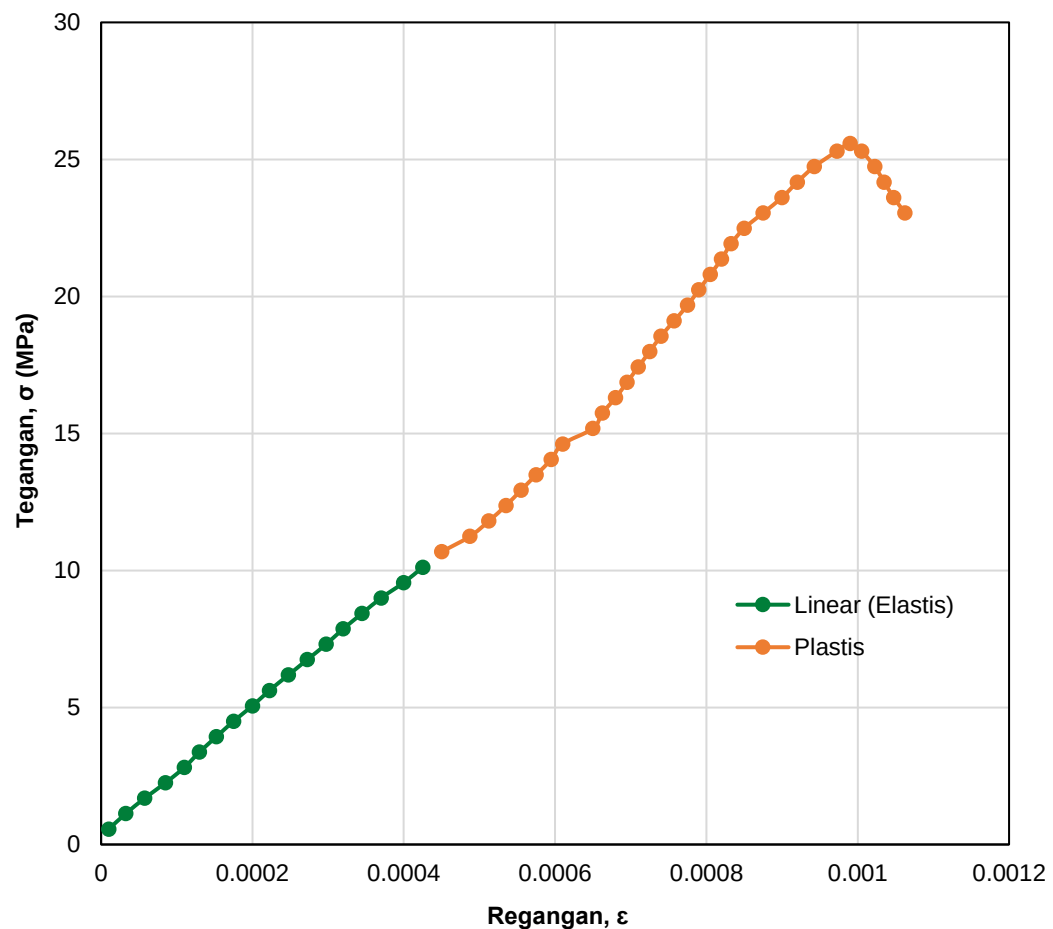
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	0%
Kadar Karbit	0%
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,579 MPa
Diameter	150,500 mm
Tinggi	301,600 mm
Luas	17789,465 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,562
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,124
30	30000	23	0,0115000	0,0000575	1,686
40	40000	34	0,0170000	0,0000850	2,249
50	50000	44	0,0220000	0,0001100	2,811
60	60000	52	0,0260000	0,0001300	3,373
70	70000	61	0,0305000	0,0001525	3,935
80	80000	70	0,0350000	0,0001750	4,497
90	90000	80	0,0400000	0,0002000	5,059
100	100000	89	0,0445000	0,0002225	5,621
110	110000	99	0,0495000	0,0002475	6,183
120	120000	109	0,0545000	0,0002725	6,746
130	130000	119	0,0595000	0,0002975	7,308
140	140000	128	0,0640000	0,0003200	7,870
150	150000	138	0,0690000	0,0003450	8,432

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	148	0,0740000	0,0003700	8,994
170	170000	160	0,0800000	0,0004000	9,556
180	180000	170	0,0850000	0,0004250	10,118
190	190000	180	0,0900000	0,0004500	10,680
200	200000	195	0,0975000	0,0004875	11,243
210	210000	205	0,1025000	0,0005125	11,805
220	220000	214	0,1070000	0,0005350	12,367
230	230000	222	0,1110000	0,0005550	12,929
240	240000	230	0,1150000	0,0005750	13,491
250	250000	238	0,1190000	0,0005950	14,053
260	260000	244	0,1220000	0,0006100	14,615
270	270000	260	0,1300000	0,0006500	15,178
280	280000	265	0,1325000	0,0006625	15,740
290	290000	272	0,1360000	0,0006800	16,302
300	300000	278	0,1390000	0,0006950	16,864
310	310000	284	0,1420000	0,0007100	17,426
320	320000	290	0,1450000	0,0007250	17,988
330	330000	296	0,1480000	0,0007400	18,550
340	340000	303	0,1515000	0,0007575	19,112
350	350000	310	0,1550000	0,0007750	19,675
360	360000	316	0,1580000	0,0007900	20,237
370	370000	322	0,1610000	0,0008050	20,799
380	380000	328	0,1640000	0,0008200	21,361
390	390000	333	0,1665000	0,0008325	21,923
400	400000	340	0,1700000	0,0008500	22,485
410	410000	350	0,1750000	0,0008750	23,047
420	420000	360	0,1800000	0,0009000	23,609

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	368	0,1840000	0,0009200	24,172
440	440000	377	0,1885000	0,0009425	24,734
450	450000	389	0,1945000	0,0009725	25,296
455,039	455039	396	0,1980000	0,0009900	25,579
450	450000	402	0,2010000	0,0010050	25,296
440	440000	409	0,2045000	0,0010225	24,734
430	430000	414	0,2070000	0,0010350	24,172
420	420000	419	0,2095000	0,0010475	23,609
410	410000	425	0,2125000	0,0010625	23,047

Modulus Elastisitas Beton Normal Sampel 5



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 1

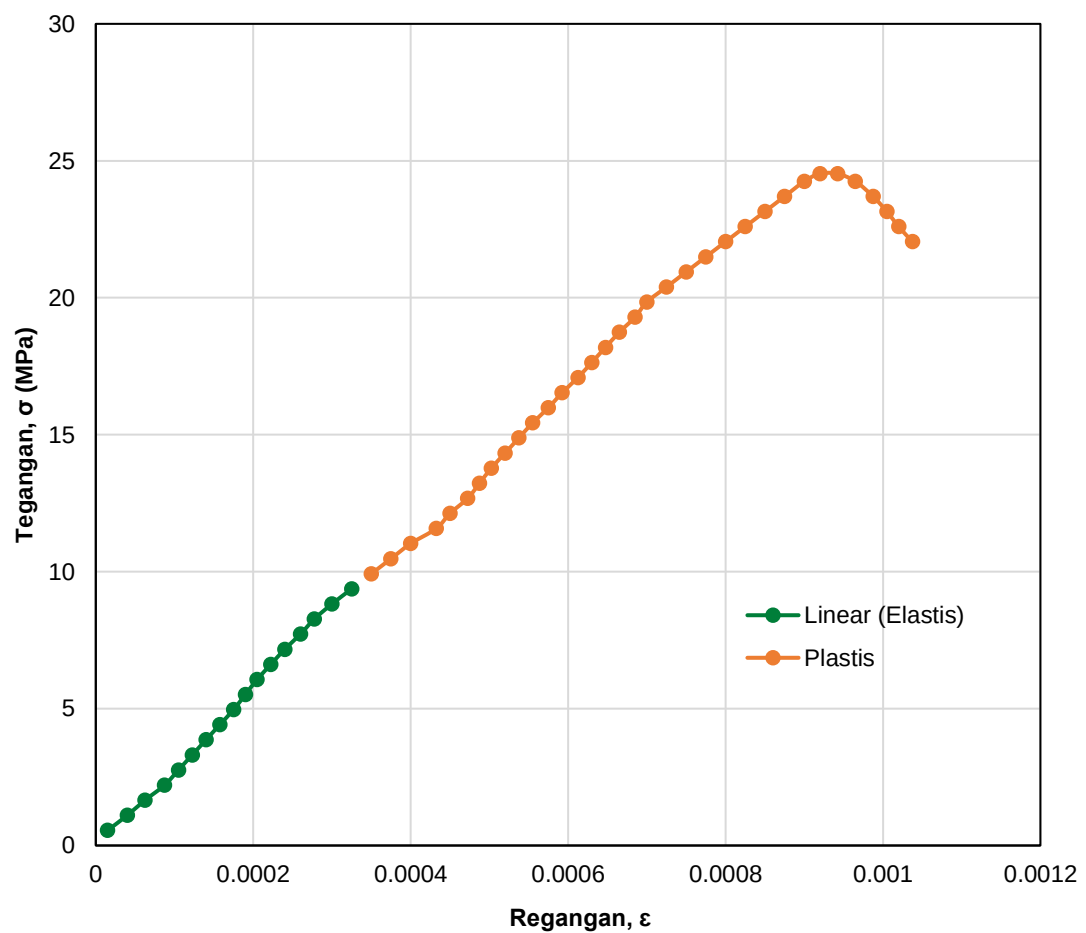
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	12%
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,536 MPa
Diameter	152,000 mm
Tinggi	304,400 mm
Luas	18145,839 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	6	0,0030000	0,0000150	0,551
20	20000	16	0,0080000	0,0000400	1,102
30	30000	25	0,0125000	0,0000625	1,653
40	40000	35	0,0175000	0,0000875	2,204
50	50000	42	0,0210000	0,0001050	2,755
60	60000	49	0,0245000	0,0001225	3,307
70	70000	56	0,0280000	0,0001400	3,858
80	80000	63	0,0315000	0,0001575	4,409
90	90000	70	0,0350000	0,0001750	4,960
100	100000	76	0,0380000	0,0001900	5,511
110	110000	82	0,0410000	0,0002050	6,062
120	120000	89	0,0445000	0,0002225	6,613
130	130000	96	0,0480000	0,0002400	7,164
140	140000	104	0,0520000	0,0002600	7,715
150	150000	111	0,0555000	0,0002775	8,266

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	120	0,0600000	0,0003000	8,817
170	170000	130	0,0650000	0,0003250	9,369
180	180000	140	0,0700000	0,0003500	9,920
190	190000	150	0,0750000	0,0003750	10,471
200	200000	160	0,0800000	0,0004000	11,022
210	210000	173	0,0865000	0,0004325	11,573
220	220000	180	0,0900000	0,0004500	12,124
230	230000	189	0,0945000	0,0004725	12,675
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,226
250	250000	201	0,1005000	0,0005025	13,777
260	260000	208	0,1040000	0,0005200	14,328
270	270000	215	0,1075000	0,0005375	14,879
280	280000	222	0,1110000	0,0005550	15,431
290	290000	230	0,1150000	0,0005750	15,982
300	300000	237	0,1185000	0,0005925	16,533
310	310000	245	0,1225000	0,0006125	17,084
320	320000	252	0,1260000	0,0006300	17,635
330	330000	259	0,1295000	0,0006475	18,186
340	340000	266	0,1330000	0,0006650	18,737
350	350000	274	0,1370000	0,0006850	19,288
360	360000	280	0,1400000	0,0007000	19,839
370	370000	290	0,1450000	0,0007250	20,390
380	380000	300	0,1500000	0,0007500	20,941
390	390000	310	0,1550000	0,0007750	21,493
400	400000	320	0,1600000	0,0008000	22,044
410	410000	330	0,1650000	0,0008250	22,595
420	420000	340	0,1700000	0,0008500	23,146

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	350	0,1750000	0,0008750	23,697
440	440000	360	0,1800000	0,0009000	24,248
445,152	445152	368	0,1840000	0,0009200	24,532
445	445000	377	0,1885000	0,0009425	24,524
440	440000	386	0,1930000	0,0009650	24,248
430	430000	395	0,1975000	0,0009875	23,697
420	420000	402	0,2010000	0,0010050	23,146
410	410000	408	0,2040000	0,0010200	22,595
400	400000	415	0,2075000	0,0010375	22,044

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 2

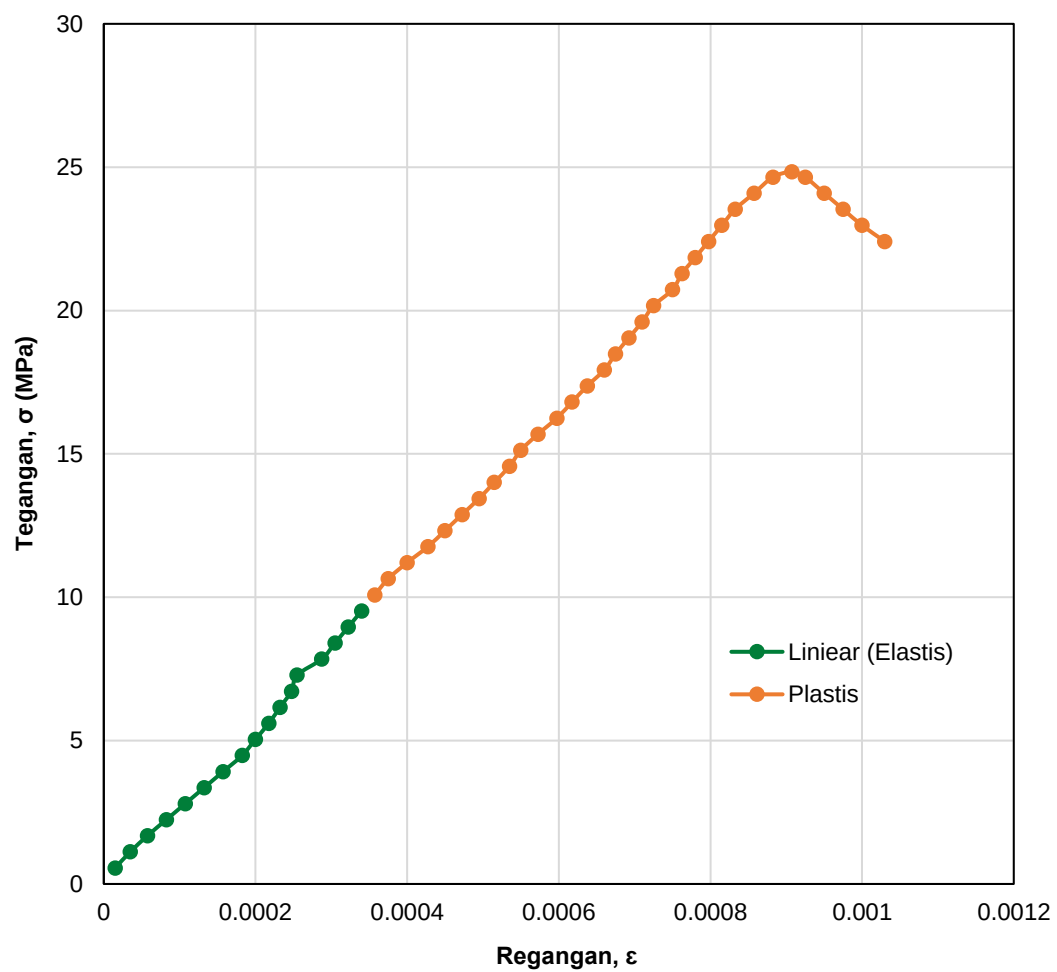
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	12%
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,838 MPa
Diameter	150,750 mm
Tinggi	302,750 mm
Luas	17848,615 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	6	0,0030000	0,0000150	0,560
20	20000	14	0,0070000	0,0000350	1,121
30	30000	23	0,0115000	0,0000575	1,681
40	40000	33	0,0165000	0,0000825	2,241
50	50000	43	0,0215000	0,0001075	2,801
60	60000	53	0,0265000	0,0001325	3,362
70	70000	63	0,0315000	0,0001575	3,922
80	80000	73	0,0365000	0,0001825	4,482
90	90000	80	0,0400000	0,0002000	5,042
100	100000	87	0,0435000	0,0002175	5,603
110	110000	93	0,0465000	0,0002325	6,163
120	120000	99	0,0495000	0,0002475	6,723
130	130000	102	0,0510000	0,0002550	7,283
140	140000	115	0,0575000	0,0002875	7,844
150	150000	122	0,0610000	0,0003050	8,404

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	129	0,0645000	0,0003225	8,964
170	170000	136	0,0680000	0,0003400	9,525
180	180000	143	0,0715000	0,0003575	10,085
190	190000	150	0,0750000	0,0003750	10,645
200	200000	160	0,0800000	0,0004000	11,205
210	210000	171	0,0855000	0,0004275	11,766
220	220000	180	0,0900000	0,0004500	12,326
230	230000	189	0,0945000	0,0004725	12,886
240	240000	198	0,0990000	0,0004950	13,446
250	250000	206	0,1030000	0,0005150	14,007
260	260000	214	0,1070000	0,0005350	14,567
270	270000	220	0,1100000	0,0005500	15,127
280	280000	229	0,1145000	0,0005725	15,687
290	290000	239	0,1195000	0,0005975	16,248
300	300000	247	0,1235000	0,0006175	16,808
310	310000	255	0,1275000	0,0006375	17,368
320	320000	264	0,1320000	0,0006600	17,929
330	330000	270	0,1350000	0,0006750	18,489
340	340000	277	0,1385000	0,0006925	19,049
350	350000	284	0,1420000	0,0007100	19,609
360	360000	290	0,1450000	0,0007250	20,170
370	370000	300	0,1500000	0,0007500	20,730
380	380000	305	0,1525000	0,0007625	21,290
390	390000	312	0,1560000	0,0007800	21,850
400	400000	319	0,1595000	0,0007975	22,411
410	410000	326	0,1630000	0,0008150	22,971
420	420000	333	0,1665000	0,0008325	23,531

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	343	0,1715000	0,0008575	24,092
440	440000	353	0,1765000	0,0008825	24,652
443,325	443325	363	0,1815000	0,0009075	24,838
440	440000	370	0,1850000	0,0009250	24,652
430	430000	380	0,1900000	0,0009500	24,092
420	420000	390	0,1950000	0,0009750	23,531
410	410000	400	0,2000000	0,0010000	22,971
400	400000	412	0,2060000	0,0010300	22,411

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 3

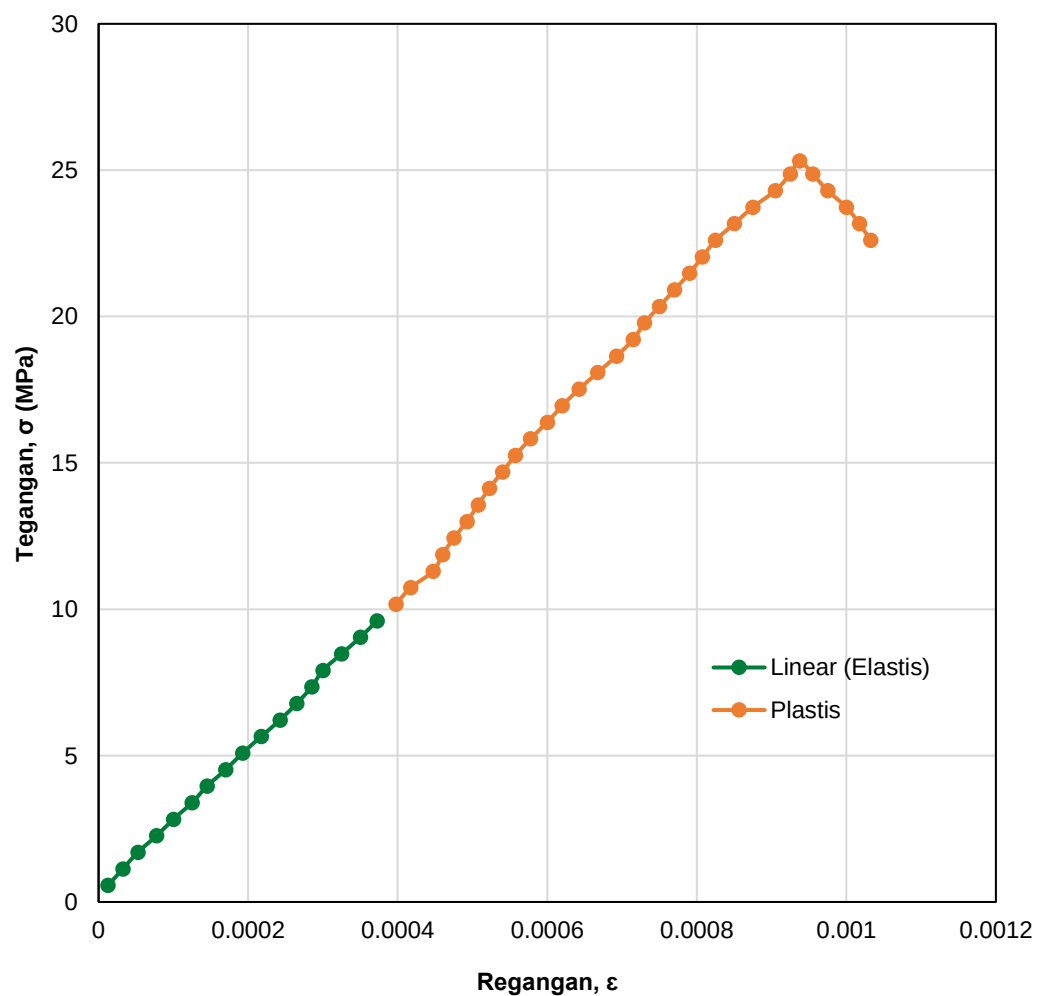
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	12%
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,323 MPa
Diameter	150,100 mm
Tinggi	301,100 mm
Luas	17695,028 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,565
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,130
30	30000	21	0,0105000	0,0000525	1,695
40	40000	31	0,0155000	0,0000775	2,261
50	50000	40	0,0200000	0,0001000	2,826
60	60000	50	0,0250000	0,0001250	3,391
70	70000	58	0,0290000	0,0001450	3,956
80	80000	68	0,0340000	0,0001700	4,521
90	90000	77	0,0385000	0,0001925	5,086
100	100000	87	0,0435000	0,0002175	5,651
110	110000	97	0,0485000	0,0002425	6,216
120	120000	106	0,0530000	0,0002650	6,782
130	130000	114	0,0570000	0,0002850	7,347
140	140000	120	0,0600000	0,0003000	7,912
150	150000	130	0,0650000	0,0003250	8,477

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	140	0,0700000	0,0003500	9,042
170	170000	149	0,0745000	0,0003725	9,607
180	180000	159	0,0795000	0,0003975	10,172
190	190000	167	0,0835000	0,0004175	10,737
200	200000	179	0,0895000	0,0004475	11,303
210	210000	184	0,0920000	0,0004600	11,868
220	220000	190	0,0950000	0,0004750	12,433
230	230000	197	0,0985000	0,0004925	12,998
240	240000	203	0,1015000	0,0005075	13,563
250	250000	209	0,1045000	0,0005225	14,128
260	260000	216	0,1080000	0,0005400	14,693
270	270000	223	0,1115000	0,0005575	15,259
280	280000	231	0,1155000	0,0005775	15,824
290	290000	240	0,1200000	0,0006000	16,389
300	300000	248	0,1240000	0,0006200	16,954
310	310000	257	0,1285000	0,0006425	17,519
320	320000	267	0,1335000	0,0006675	18,084
330	330000	277	0,1385000	0,0006925	18,649
340	340000	286	0,1430000	0,0007150	19,214
350	350000	292	0,1460000	0,0007300	19,780
360	360000	300	0,1500000	0,0007500	20,345
370	370000	308	0,1540000	0,0007700	20,910
380	380000	316	0,1580000	0,0007900	21,475
390	390000	323	0,1615000	0,0008075	22,040
400	400000	330	0,1650000	0,0008250	22,605
410	410000	340	0,1700000	0,0008500	23,170
420	420000	350	0,1750000	0,0008750	23,735

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	362	0,1810000	0,0009050	24,301
440	440000	370	0,1850000	0,0009250	24,866
448,087	448087	375	0,1875000	0,0009375	25,323
440	440000	382	0,1910000	0,0009550	24,866
430	430000	390	0,1950000	0,0009750	24,301
420	420000	400	0,2000000	0,0010000	23,735
410	410000	407	0,2035000	0,0010175	23,170
400	400000	413	0,2065000	0,0010325	22,605

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 4

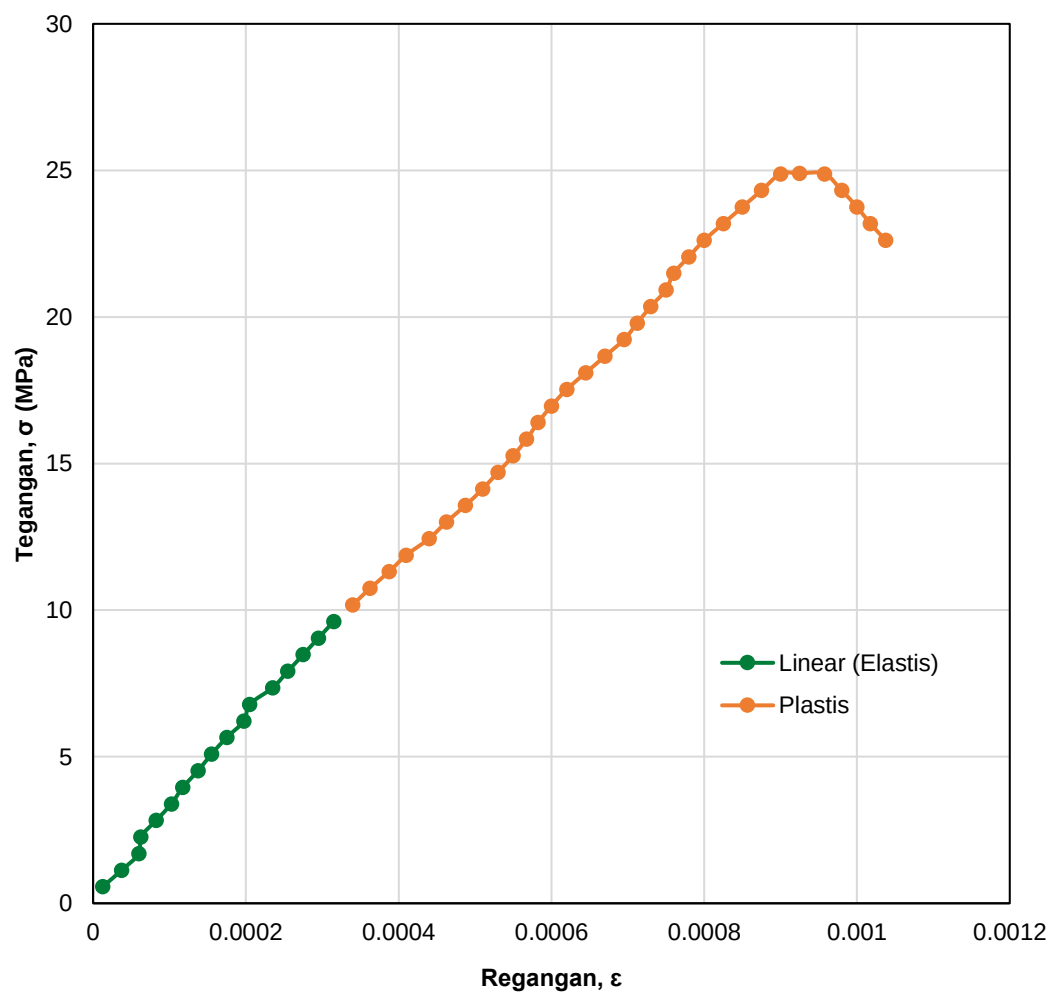
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	12%
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,903 MPa
Diameter	150,050 mm
Tinggi	302,900 mm
Luas	17683,242 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,566
20	20000	15	0,0075000	0,0000375	1,131
30	30000	24	0,0120000	0,0000600	1,697
40	40000	25	0,0125000	0,0000625	2,262
50	50000	33	0,0165000	0,0000825	2,828
60	60000	41	0,0205000	0,0001025	3,393
70	70000	47	0,0235000	0,0001175	3,959
80	80000	55	0,0275000	0,0001375	4,524
90	90000	62	0,0310000	0,0001550	5,090
100	100000	70	0,0350000	0,0001750	5,655
110	110000	79	0,0395000	0,0001975	6,221
120	120000	82	0,0410000	0,0002050	6,786
130	130000	94	0,0470000	0,0002350	7,352
140	140000	102	0,0510000	0,0002550	7,917
150	150000	110	0,0550000	0,0002750	8,483

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	118	0,0590000	0,0002950	9,048
170	170000	126	0,0630000	0,0003150	9,614
180	180000	136	0,0680000	0,0003400	10,179
190	190000	145	0,0725000	0,0003625	10,745
200	200000	155	0,0775000	0,0003875	11,310
210	210000	164	0,0820000	0,0004100	11,876
220	220000	176	0,0880000	0,0004400	12,441
230	230000	185	0,0925000	0,0004625	13,007
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,572
250	250000	204	0,1020000	0,0005100	14,138
260	260000	212	0,1060000	0,0005300	14,703
270	270000	220	0,1100000	0,0005500	15,269
280	280000	227	0,1135000	0,0005675	15,834
290	290000	233	0,1165000	0,0005825	16,400
300	300000	240	0,1200000	0,0006000	16,965
310	310000	248	0,1240000	0,0006200	17,531
320	320000	258	0,1290000	0,0006450	18,096
330	330000	268	0,1340000	0,0006700	18,662
340	340000	278	0,1390000	0,0006950	19,227
350	350000	285	0,1425000	0,0007125	19,793
360	360000	292	0,1460000	0,0007300	20,358
370	370000	300	0,1500000	0,0007500	20,924
380	380000	304	0,1520000	0,0007600	21,489
390	390000	312	0,1560000	0,0007800	22,055
400	400000	320	0,1600000	0,0008000	22,620
410	410000	330	0,1650000	0,0008250	23,186
420	420000	340	0,1700000	0,0008500	23,751

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	350	0,1750000	0,0008750	24,317
440	440000	360	0,1800000	0,0009000	24,882
440,37	440370	370	0,1850000	0,0009250	24,903
440	440000	383	0,1915000	0,0009575	24,882
430	430000	392	0,1960000	0,0009800	24,317
420	420000	400	0,2000000	0,0010000	23,751
410	410000	407	0,2035000	0,0010175	23,186
400	400000	415	0,2075000	0,0010375	22,620

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 4



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 5

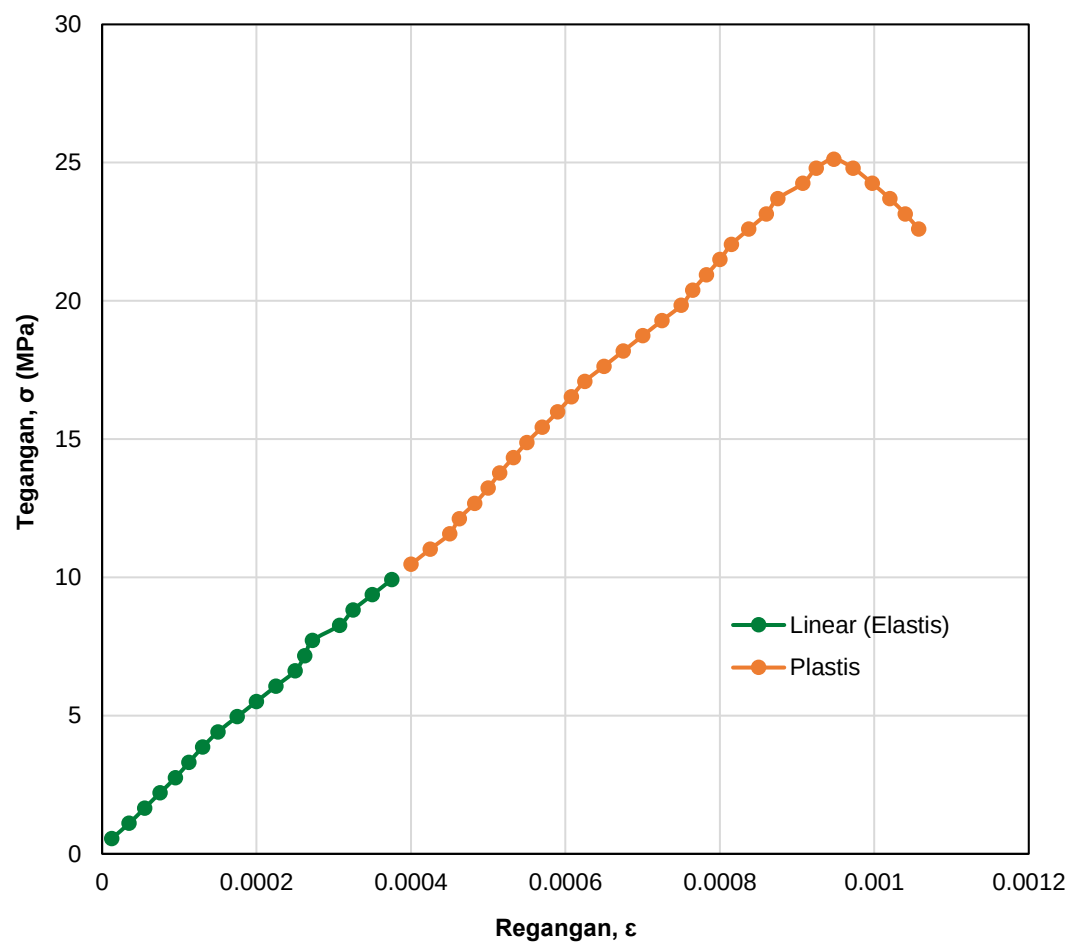
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	12%
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,124 MPa
Diameter	152,000 mm
Tinggi	304,000 mm
Luas	18145,839 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,551
20	20000	14	0,0070000	0,0000350	1,102
30	30000	22	0,0110000	0,0000550	1,653
40	40000	30	0,0150000	0,0000750	2,204
50	50000	38	0,0190000	0,0000950	2,755
60	60000	45	0,0225000	0,0001125	3,307
70	70000	52	0,0260000	0,0001300	3,858
80	80000	60	0,0300000	0,0001500	4,409
90	90000	70	0,0350000	0,0001750	4,960
100	100000	80	0,0400000	0,0002000	5,511
110	110000	90	0,0450000	0,0002250	6,062
120	120000	100	0,0500000	0,0002500	6,613
130	130000	105	0,0525000	0,0002625	7,164
140	140000	109	0,0545000	0,0002725	7,715
150	150000	123	0,0615000	0,0003075	8,266

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	130	0,0650000	0,0003250	8,817
170	170000	140	0,0700000	0,0003500	9,369
180	180000	150	0,0750000	0,0003750	9,920
190	190000	160	0,0800000	0,0004000	10,471
200	200000	170	0,0850000	0,0004250	11,022
210	210000	180	0,0900000	0,0004500	11,573
220	220000	185	0,0925000	0,0004625	12,124
230	230000	193	0,0965000	0,0004825	12,675
240	240000	200	0,1000000	0,0005000	13,226
250	250000	206	0,1030000	0,0005150	13,777
260	260000	213	0,1065000	0,0005325	14,328
270	270000	220	0,1100000	0,0005500	14,879
280	280000	228	0,1140000	0,0005700	15,431
290	290000	236	0,1180000	0,0005900	15,982
300	300000	243	0,1215000	0,0006075	16,533
310	310000	250	0,1250000	0,0006250	17,084
320	320000	260	0,1300000	0,0006500	17,635
330	330000	270	0,1350000	0,0006750	18,186
340	340000	280	0,1400000	0,0007000	18,737
350	350000	290	0,1450000	0,0007250	19,288
360	360000	300	0,1500000	0,0007500	19,839
370	370000	306	0,1530000	0,0007650	20,390
380	380000	313	0,1565000	0,0007825	20,941
390	390000	320	0,1600000	0,0008000	21,493
400	400000	326	0,1630000	0,0008150	22,044
410	410000	335	0,1675000	0,0008375	22,595
420	420000	344	0,1720000	0,0008600	23,146

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	350	0,1750000	0,0008750	23,697
440	440000	363	0,1815000	0,0009075	24,248
450	450000	370	0,1850000	0,0009250	24,799
455,89	455890	379	0,1895000	0,0009475	25,124
450	450000	389	0,1945000	0,0009725	24,799
440	440000	399	0,1995000	0,0009975	24,248
430	430000	408	0,2040000	0,0010200	23,697
420	420000	416	0,2080000	0,0010400	23,146
410	410000	423	0,2115000	0,0010575	22,595

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₁ Sampel 5



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 1

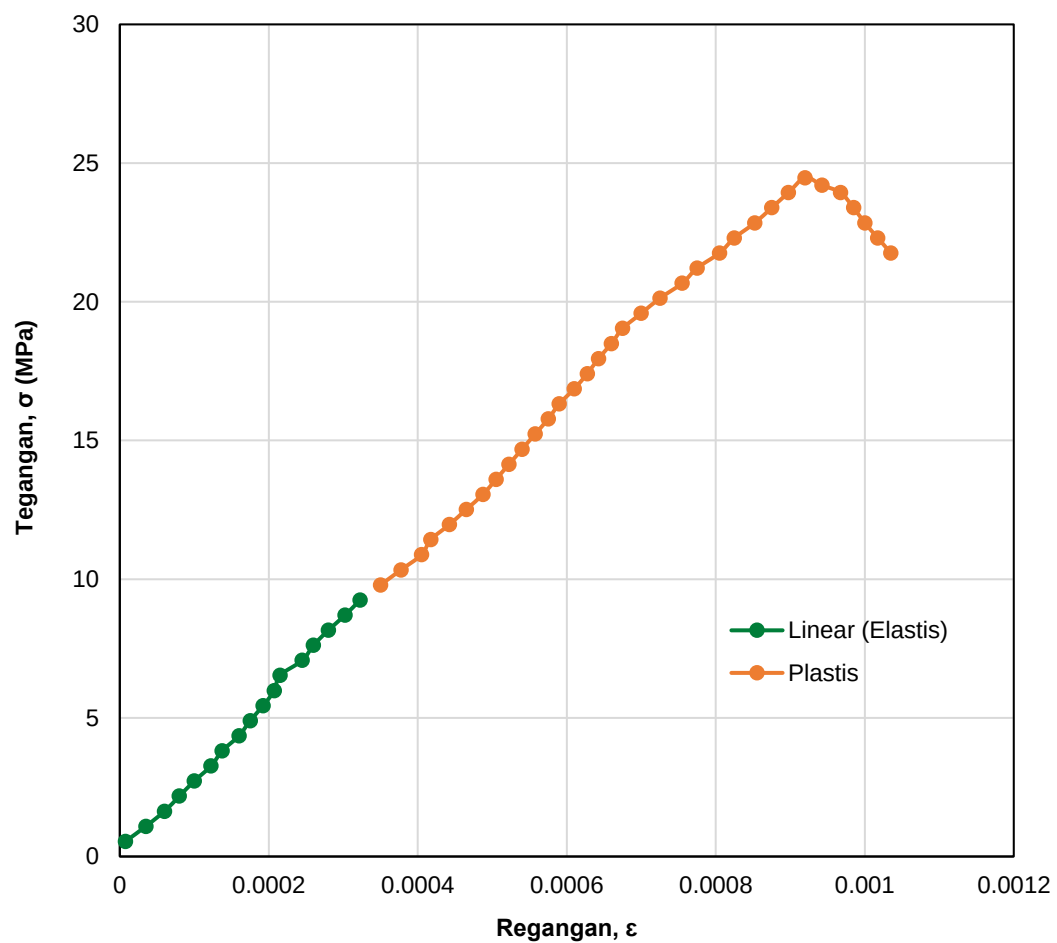
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	14%
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,471 MPa
Diameter	153,000 mm
Tinggi	304,000 mm
Luas	18385,386 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	3	0,0015000	0,0000075	0,544
20	20000	14	0,0070000	0,0000350	1,088
30	30000	24	0,0120000	0,0000600	1,632
40	40000	32	0,0160000	0,0000800	2,176
50	50000	40	0,0200000	0,0001000	2,720
60	60000	49	0,0245000	0,0001225	3,263
70	70000	55	0,0275000	0,0001375	3,807
80	80000	64	0,0320000	0,0001600	4,351
90	90000	70	0,0350000	0,0001750	4,895
100	100000	77	0,0385000	0,0001925	5,439
110	110000	83	0,0415000	0,0002075	5,983
120	120000	86	0,0430000	0,0002150	6,527
130	130000	98	0,0490000	0,0002450	7,071
140	140000	104	0,0520000	0,0002600	7,615
150	150000	112	0,0560000	0,0002800	8,159

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	121	0,0605000	0,0003025	8,703
170	170000	129	0,0645000	0,0003225	9,246
180	180000	140	0,0700000	0,0003500	9,790
190	190000	151	0,0755000	0,0003775	10,334
200	200000	162	0,0810000	0,0004050	10,878
210	210000	167	0,0835000	0,0004175	11,422
220	220000	177	0,0885000	0,0004425	11,966
230	230000	186	0,0930000	0,0004650	12,510
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,054
250	250000	202	0,1010000	0,0005050	13,598
260	260000	209	0,1045000	0,0005225	14,142
270	270000	216	0,1080000	0,0005400	14,686
280	280000	223	0,1115000	0,0005575	15,229
290	290000	230	0,1150000	0,0005750	15,773
300	300000	236	0,1180000	0,0005900	16,317
310	310000	244	0,1220000	0,0006100	16,861
320	320000	251	0,1255000	0,0006275	17,405
330	330000	257	0,1285000	0,0006425	17,949
340	340000	264	0,1320000	0,0006600	18,493
350	350000	270	0,1350000	0,0006750	19,037
360	360000	280	0,1400000	0,0007000	19,581
370	370000	290	0,1450000	0,0007250	20,125
380	380000	302	0,1510000	0,0007550	20,669
390	390000	310	0,1550000	0,0007750	21,213
400	400000	322	0,1610000	0,0008050	21,756
410	410000	330	0,1650000	0,0008250	22,300
420	420000	341	0,1705000	0,0008525	22,844

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	350	0,1750000	0,0008750	23,388
440	440000	359	0,1795000	0,0008975	23,932
449,9	449900	368	0,1840000	0,0009200	24,471
445	445000	377	0,1885000	0,0009425	24,204
440	440000	387	0,1935000	0,0009675	23,932
430	430000	394	0,1970000	0,0009850	23,388
420	420000	400	0,2000000	0,0010000	22,844
410	410000	407	0,2035000	0,0010175	22,300
400	400000	414	0,2070000	0,0010350	21,756

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 2

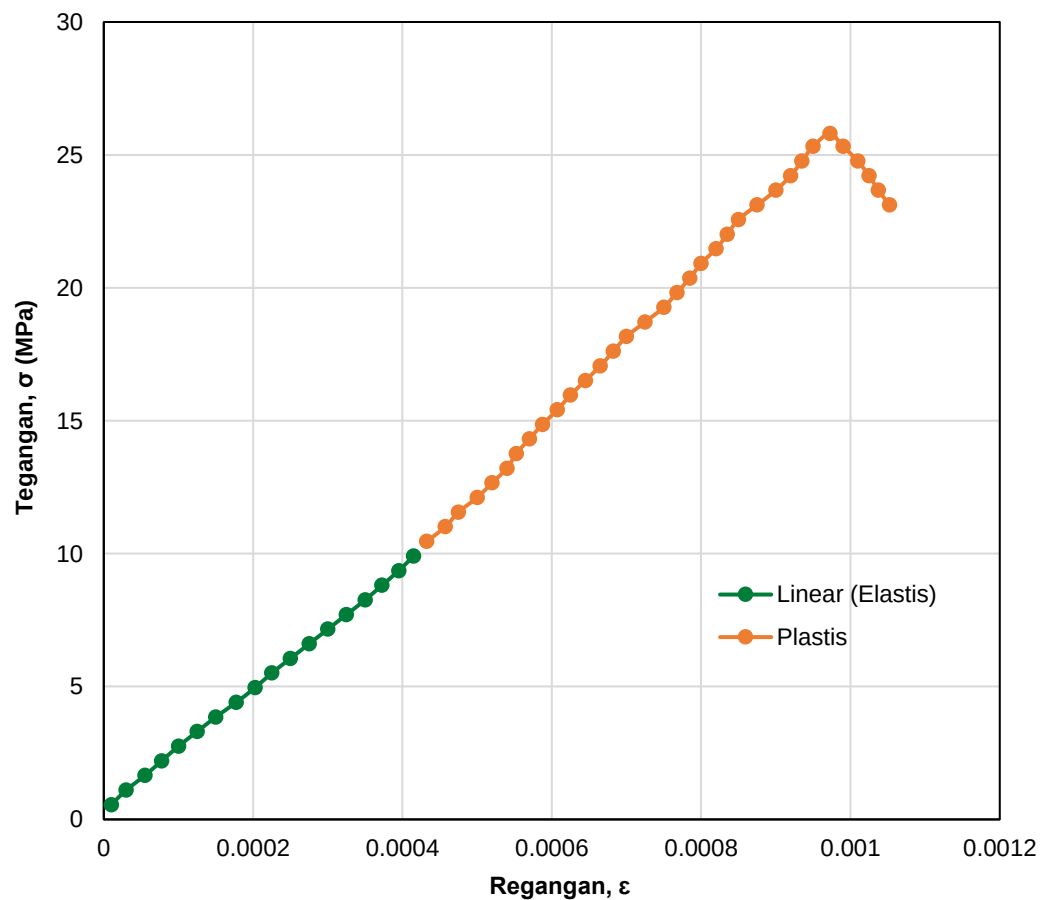
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	14%
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,801 MPa
Diameter	152,100 mm
Tinggi	304,400 mm
Luas	18169,723 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,550
20	20000	12	0,0060000	0,0000300	1,101
30	30000	22	0,0110000	0,0000550	1,651
40	40000	31	0,0155000	0,0000775	2,201
50	50000	40	0,0200000	0,0001000	2,752
60	60000	50	0,0250000	0,0001250	3,302
70	70000	60	0,0300000	0,0001500	3,853
80	80000	71	0,0355000	0,0001775	4,403
90	90000	81	0,0405000	0,0002025	4,953
100	100000	90	0,0450000	0,0002250	5,504
110	110000	100	0,0500000	0,0002500	6,054
120	120000	110	0,0550000	0,0002750	6,604
130	130000	120	0,0600000	0,0003000	7,155
140	140000	130	0,0650000	0,0003250	7,705
150	150000	140	0,0700000	0,0003500	8,255

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	149	0,0745000	0,0003725	8,806
170	170000	158	0,0790000	0,0003950	9,356
180	180000	166	0,0830000	0,0004150	9,907
190	190000	173	0,0865000	0,0004325	10,457
200	200000	183	0,0915000	0,0004575	11,007
210	210000	190	0,0950000	0,0004750	11,558
220	220000	200	0,1000000	0,0005000	12,108
230	230000	208	0,1040000	0,0005200	12,658
240	240000	216	0,1080000	0,0005400	13,209
250	250000	221	0,1105000	0,0005525	13,759
260	260000	228	0,1140000	0,0005700	14,310
270	270000	235	0,1175000	0,0005875	14,860
280	280000	243	0,1215000	0,0006075	15,410
290	290000	250	0,1250000	0,0006250	15,961
300	300000	258	0,1290000	0,0006450	16,511
310	310000	266	0,1330000	0,0006650	17,061
320	320000	273	0,1365000	0,0006825	17,612
330	330000	280	0,1400000	0,0007000	18,162
340	340000	290	0,1450000	0,0007250	18,712
350	350000	300	0,1500000	0,0007500	19,263
360	360000	307	0,1535000	0,0007675	19,813
370	370000	314	0,1570000	0,0007850	20,364
380	380000	320	0,1600000	0,0008000	20,914
390	390000	328	0,1640000	0,0008200	21,464
400	400000	334	0,1670000	0,0008350	22,015
410	410000	340	0,1700000	0,0008500	22,565
420	420000	350	0,1750000	0,0008750	23,115

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	360	0,1800000	0,0009000	23,666
440	440000	368	0,1840000	0,0009200	24,216
450	450000	374	0,1870000	0,0009350	24,766
460	460000	380	0,1900000	0,0009500	25,317
468,8	468800	389	0,1945000	0,0009725	25,801
460	460000	396	0,1980000	0,0009900	25,317
450	450000	404	0,2020000	0,0010100	24,766
440	440000	410	0,2050000	0,0010250	24,216
430	430000	415	0,2075000	0,0010375	23,666
420	420000	421	0,2105000	0,0010525	23,115

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 3

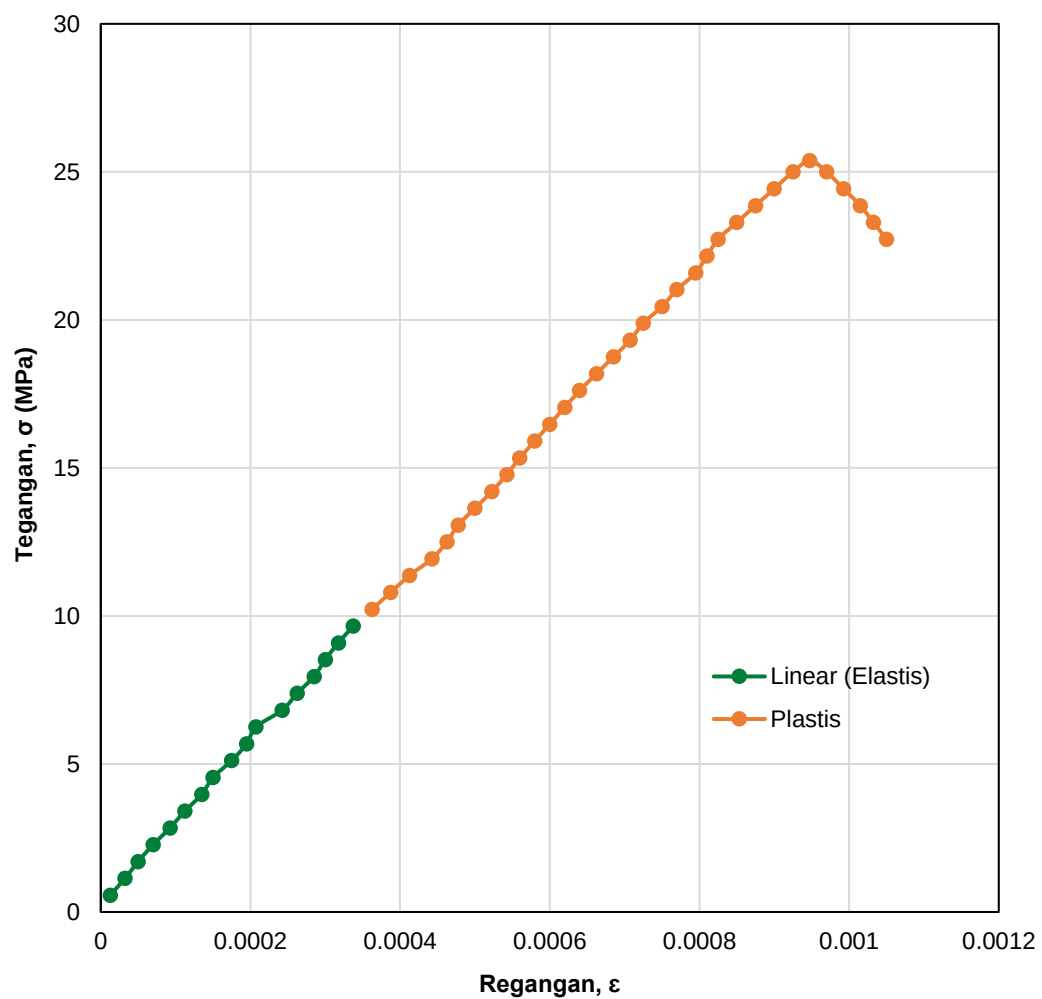
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	14%
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,379 MPa
Diameter	149,700 mm
Tinggi	302,800 mm
Luas	17600,844 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,568
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,136
30	30000	20	0,0100000	0,0000500	1,704
40	40000	28	0,0140000	0,0000700	2,273
50	50000	37	0,0185000	0,0000925	2,841
60	60000	45	0,0225000	0,0001125	3,409
70	70000	54	0,0270000	0,0001350	3,977
80	80000	60	0,0300000	0,0001500	4,545
90	90000	70	0,0350000	0,0001750	5,113
100	100000	78	0,0390000	0,0001950	5,682
110	110000	83	0,0415000	0,0002075	6,250
120	120000	97	0,0485000	0,0002425	6,818
130	130000	105	0,0525000	0,0002625	7,386
140	140000	114	0,0570000	0,0002850	7,954
150	150000	120	0,0600000	0,0003000	8,522

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	127	0,0635000	0,0003175	9,090
170	170000	135	0,0675000	0,0003375	9,659
180	180000	145	0,0725000	0,0003625	10,227
190	190000	155	0,0775000	0,0003875	10,795
200	200000	165	0,0825000	0,0004125	11,363
210	210000	177	0,0885000	0,0004425	11,931
220	220000	185	0,0925000	0,0004625	12,499
230	230000	191	0,0955000	0,0004775	13,068
240	240000	200	0,1000000	0,0005000	13,636
250	250000	209	0,1045000	0,0005225	14,204
260	260000	217	0,1085000	0,0005425	14,772
270	270000	224	0,1120000	0,0005600	15,340
280	280000	232	0,1160000	0,0005800	15,908
290	290000	240	0,1200000	0,0006000	16,476
300	300000	248	0,1240000	0,0006200	17,045
310	310000	256	0,1280000	0,0006400	17,613
320	320000	265	0,1325000	0,0006625	18,181
330	330000	274	0,1370000	0,0006850	18,749
340	340000	283	0,1415000	0,0007075	19,317
350	350000	290	0,1450000	0,0007250	19,885
360	360000	300	0,1500000	0,0007500	20,454
370	370000	308	0,1540000	0,0007700	21,022
380	380000	318	0,1590000	0,0007950	21,590
390	390000	324	0,1620000	0,0008100	22,158
400	400000	330	0,1650000	0,0008250	22,726
410	410000	340	0,1700000	0,0008500	23,294
420	420000	350	0,1750000	0,0008750	23,862

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
430	430000	360	0,1800000	0,0009000	24,431
440	440000	370	0,1850000	0,0009250	24,999
446,7	446700	379	0,1895000	0,0009475	25,379
440	440000	388	0,1940000	0,0009700	24,999
430	430000	397	0,1985000	0,0009925	24,431
420	420000	406	0,2030000	0,0010150	23,862
410	410000	413	0,2065000	0,0010325	23,294
400	400000	420	0,2100000	0,0010500	22,726

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 4

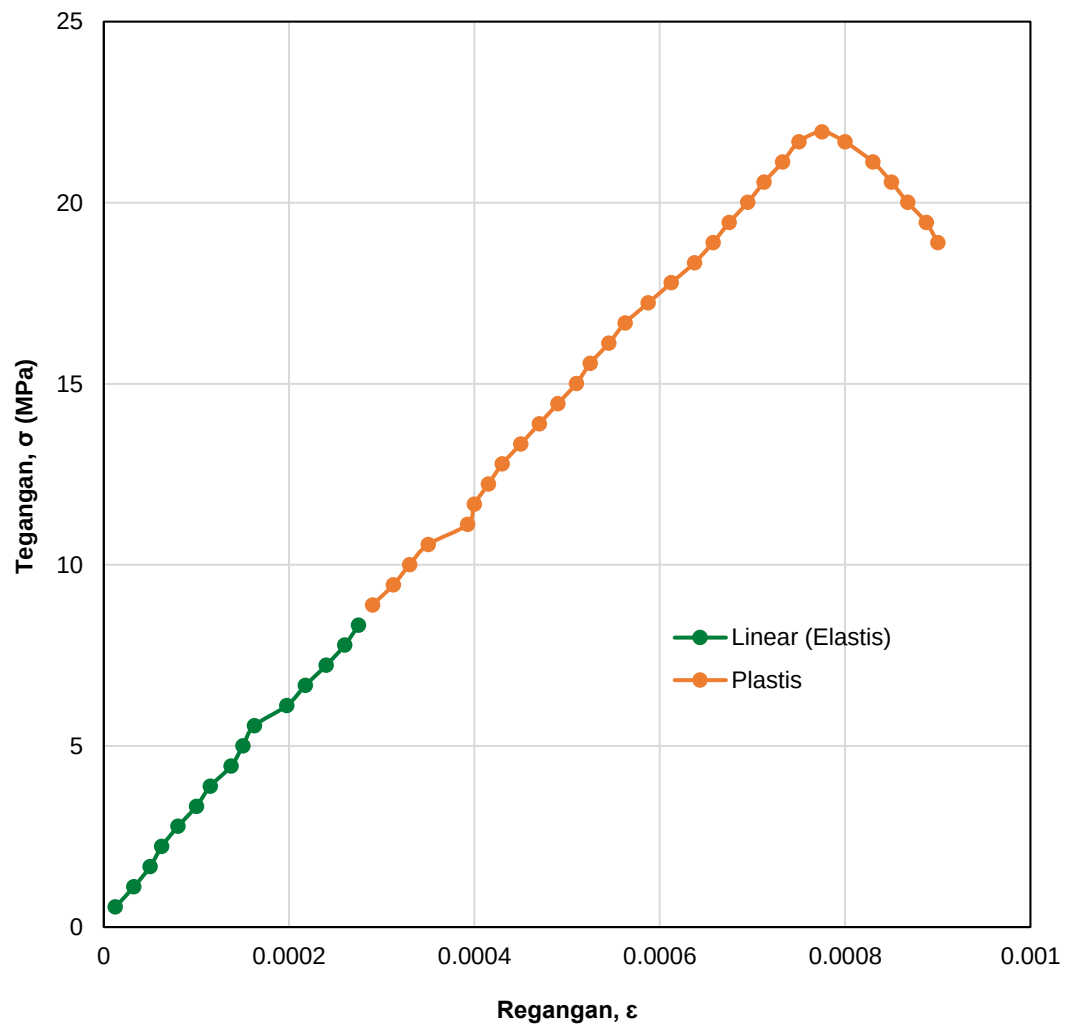
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	14%
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,955 MPa
Diameter	151,350 mm
Tinggi	300,400 mm
Luas	17990,976 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,556
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,112
30	30000	20	0,0100000	0,0000500	1,668
40	40000	25	0,0125000	0,0000625	2,223
50	50000	32	0,0160000	0,0000800	2,779
60	60000	40	0,0200000	0,0001000	3,335
70	70000	46	0,0230000	0,0001150	3,891
80	80000	55	0,0275000	0,0001375	4,447
90	90000	60	0,0300000	0,0001500	5,003
100	100000	65	0,0325000	0,0001625	5,558
110	110000	79	0,0395000	0,0001975	6,114
120	120000	87	0,0435000	0,0002175	6,670
130	130000	96	0,0480000	0,0002400	7,226
140	140000	104	0,0520000	0,0002600	7,782
150	150000	110	0,0550000	0,0002750	8,338

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	116	0,0580000	0,0002900	8,893
170	170000	125	0,0625000	0,0003125	9,449
180	180000	132	0,0660000	0,0003300	10,005
190	190000	140	0,0700000	0,0003500	10,561
200	200000	157	0,0785000	0,0003925	11,117
210	210000	160	0,0800000	0,0004000	11,673
220	220000	166	0,0830000	0,0004150	12,228
230	230000	172	0,0860000	0,0004300	12,784
240	240000	180	0,0900000	0,0004500	13,340
250	250000	188	0,0940000	0,0004700	13,896
260	260000	196	0,0980000	0,0004900	14,452
270	270000	204	0,1020000	0,0005100	15,008
280	280000	210	0,1050000	0,0005250	15,563
290	290000	218	0,1090000	0,0005450	16,119
300	300000	225	0,1125000	0,0005625	16,675
310	310000	235	0,1175000	0,0005875	17,231
320	320000	245	0,1225000	0,0006125	17,787
330	330000	255	0,1275000	0,0006375	18,343
340	340000	263	0,1315000	0,0006575	18,898
350	350000	270	0,1350000	0,0006750	19,454
360	360000	278	0,1390000	0,0006950	20,010
370	370000	285	0,1425000	0,0007125	20,566
380	380000	293	0,1465000	0,0007325	21,122
390	390000	300	0,1500000	0,0007500	21,678
395	395000	310	0,1550000	0,0007750	21,955
390	390000	320	0,1600000	0,0008000	21,678
380	380000	332	0,1660000	0,0008300	21,122

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
370	370000	340	0,1700000	0,0008500	20,566
360	360000	347	0,1735000	0,0008675	20,010
350	350000	355	0,1775000	0,0008875	19,454
340	340000	360	0,1800000	0,0009000	18,898

Grafik Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 4



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 5

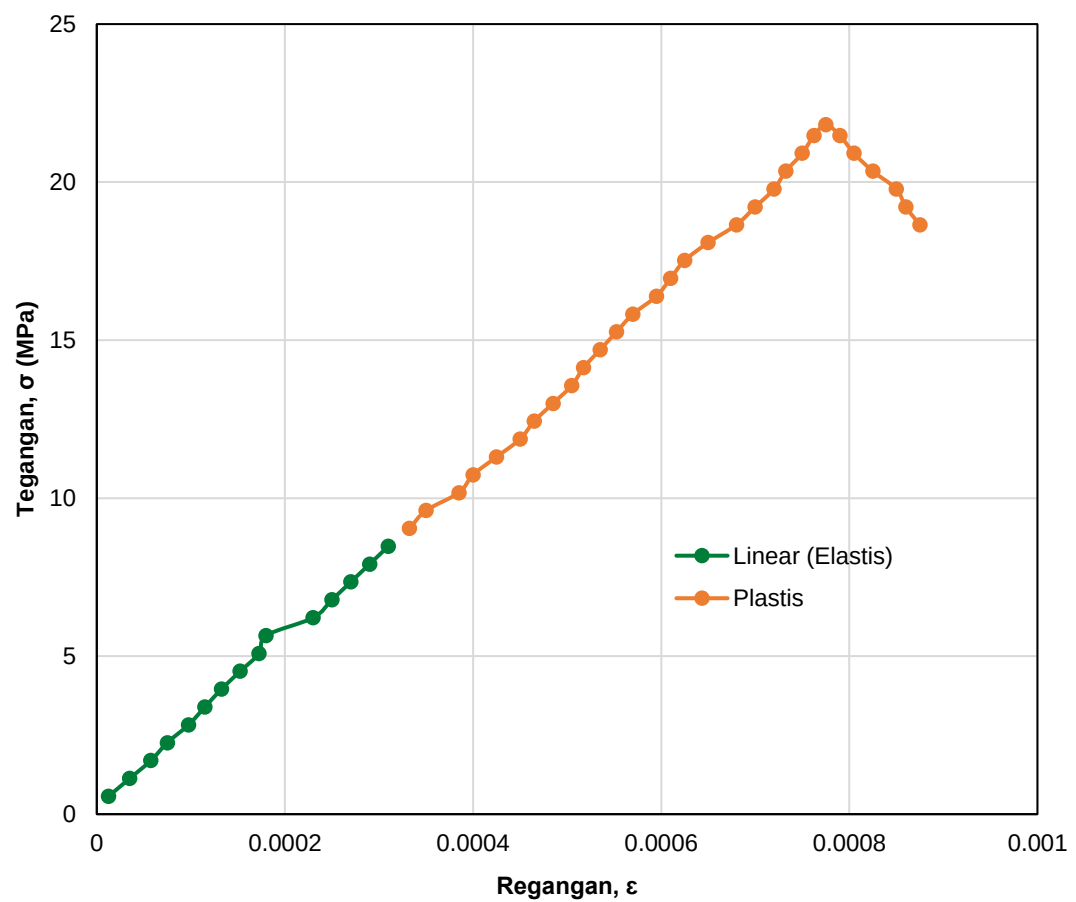
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	14%
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,820 MPa
Diameter	150,100 mm
Tinggi	303,000 mm
Luas	17695,028 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	5	0,0025000	0,0000125	0,565
20	20000	14	0,0070000	0,0000350	1,130
30	30000	23	0,0115000	0,0000575	1,695
40	40000	30	0,0150000	0,0000750	2,261
50	50000	39	0,0195000	0,0000975	2,826
60	60000	46	0,0230000	0,0001150	3,391
70	70000	53	0,0265000	0,0001325	3,956
80	80000	61	0,0305000	0,0001525	4,521
90	90000	69	0,0345000	0,0001725	5,086
100	100000	72	0,0360000	0,0001800	5,651
110	110000	92	0,0460000	0,0002300	6,216
120	120000	100	0,0500000	0,0002500	6,782
130	130000	108	0,0540000	0,0002700	7,347
140	140000	116	0,0580000	0,0002900	7,912
150	150000	124	0,0620000	0,0003100	8,477

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	133	0,0665000	0,0003325	9,042
170	170000	140	0,0700000	0,0003500	9,607
180	180000	154	0,0770000	0,0003850	10,172
190	190000	160	0,0800000	0,0004000	10,737
200	200000	170	0,0850000	0,0004250	11,303
210	210000	180	0,0900000	0,0004500	11,868
220	220000	186	0,0930000	0,0004650	12,433
230	230000	194	0,0970000	0,0004850	12,998
240	240000	202	0,1010000	0,0005050	13,563
250	250000	207	0,1035000	0,0005175	14,128
260	260000	214	0,1070000	0,0005350	14,693
270	270000	221	0,1105000	0,0005525	15,259
280	280000	228	0,1140000	0,0005700	15,824
290	290000	238	0,1190000	0,0005950	16,389
300	300000	244	0,1220000	0,0006100	16,954
310	310000	250	0,1250000	0,0006250	17,519
320	320000	260	0,1300000	0,0006500	18,084
330	330000	272	0,1360000	0,0006800	18,649
340	340000	280	0,1400000	0,0007000	19,214
350	350000	288	0,1440000	0,0007200	19,780
360	360000	293	0,1465000	0,0007325	20,345
370	370000	300	0,1500000	0,0007500	20,910
380	380000	305	0,1525000	0,0007625	21,475
386,1	386100	310	0,1550000	0,0007750	21,820
380	380000	316	0,1580000	0,0007900	21,475
370	370000	322	0,1610000	0,0008050	20,910
360	360000	330	0,1650000	0,0008250	20,345

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
350	350000	340	0,1700000	0,0008500	19,780
340	340000	344	0,1720000	0,0008600	19,214
330	330000	350	0,1750000	0,0008750	18,649

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₂ Sampel 5



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 1

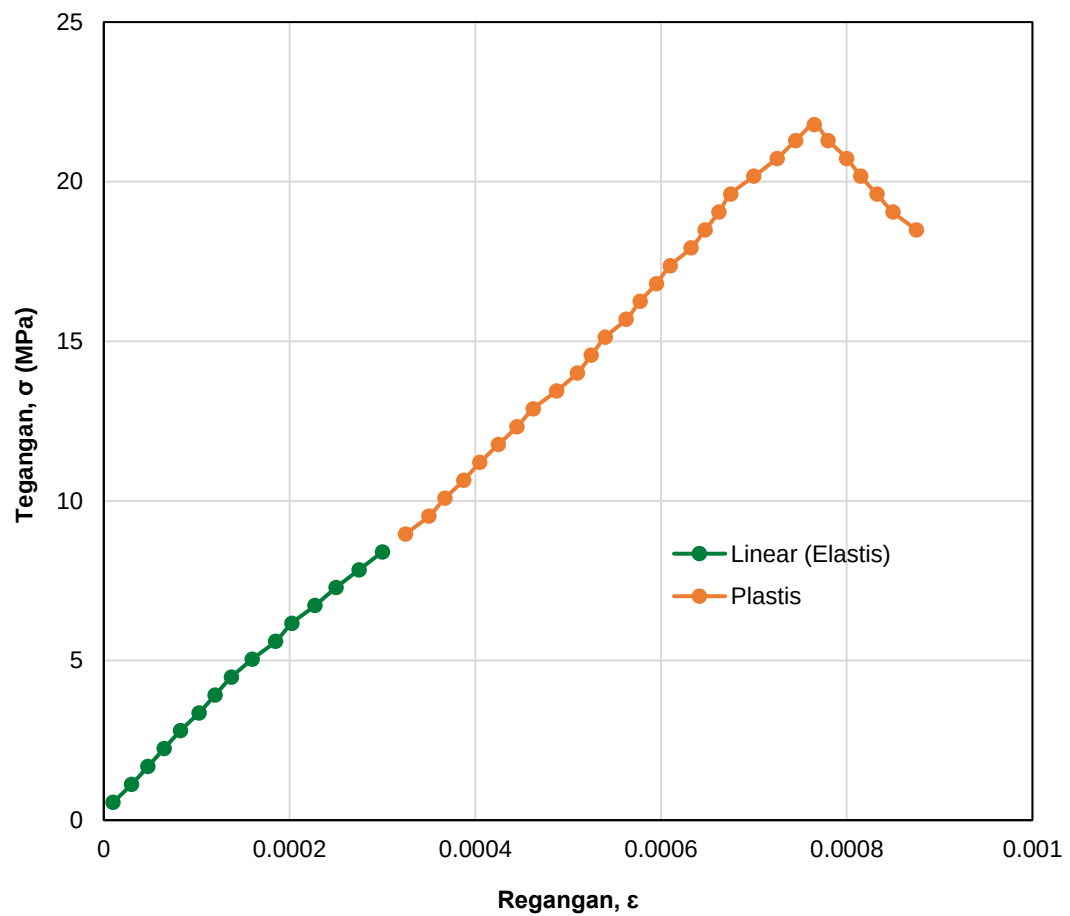
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	16%
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,783 MPa
Diameter	150,750 mm
Tinggi	304,400 mm
Luas	17848,615 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,560
20	20000	12	0,0060000	0,0000300	1,121
30	30000	19	0,0095000	0,0000475	1,681
40	40000	26	0,0130000	0,0000650	2,241
50	50000	33	0,0165000	0,0000825	2,801
60	60000	41	0,0205000	0,0001025	3,362
70	70000	48	0,0240000	0,0001200	3,922
80	80000	55	0,0275000	0,0001375	4,482
90	90000	64	0,0320000	0,0001600	5,042
100	100000	74	0,0370000	0,0001850	5,603
110	110000	81	0,0405000	0,0002025	6,163
120	120000	91	0,0455000	0,0002275	6,723
130	130000	100	0,0500000	0,0002500	7,283
140	140000	110	0,0550000	0,0002750	7,844
150	150000	120	0,0600000	0,0003000	8,404

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	130	0,0650000	0,0003250	8,964
170	170000	140	0,0700000	0,0003500	9,525
180	180000	147	0,0735000	0,0003675	10,085
190	190000	155	0,0775000	0,0003875	10,645
200	200000	162	0,0810000	0,0004050	11,205
210	210000	170	0,0850000	0,0004250	11,766
220	220000	178	0,0890000	0,0004450	12,326
230	230000	185	0,0925000	0,0004625	12,886
240	240000	195	0,0975000	0,0004875	13,446
250	250000	204	0,1020000	0,0005100	14,007
260	260000	210	0,1050000	0,0005250	14,567
270	270000	216	0,1080000	0,0005400	15,127
280	280000	225	0,1125000	0,0005625	15,687
290	290000	231	0,1155000	0,0005775	16,248
300	300000	238	0,1190000	0,0005950	16,808
310	310000	244	0,1220000	0,0006100	17,368
320	320000	253	0,1265000	0,0006325	17,929
330	330000	259	0,1295000	0,0006475	18,489
340	340000	265	0,1325000	0,0006625	19,049
350	350000	270	0,1350000	0,0006750	19,609
360	360000	280	0,1400000	0,0007000	20,170
370	370000	290	0,1450000	0,0007250	20,730
380	380000	298	0,1490000	0,0007450	21,290
388,8	388800	306	0,1530000	0,0007650	21,783
380	380000	312	0,1560000	0,0007800	21,290
370	370000	320	0,1600000	0,0008000	20,730
360	360000	326	0,1630000	0,0008150	20,170

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
350	350000	333	0,1665000	0,0008325	19,609
340	340000	340	0,1700000	0,0008500	19,049
330	330000	350	0,1750000	0,0008750	18,489

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 1



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 2

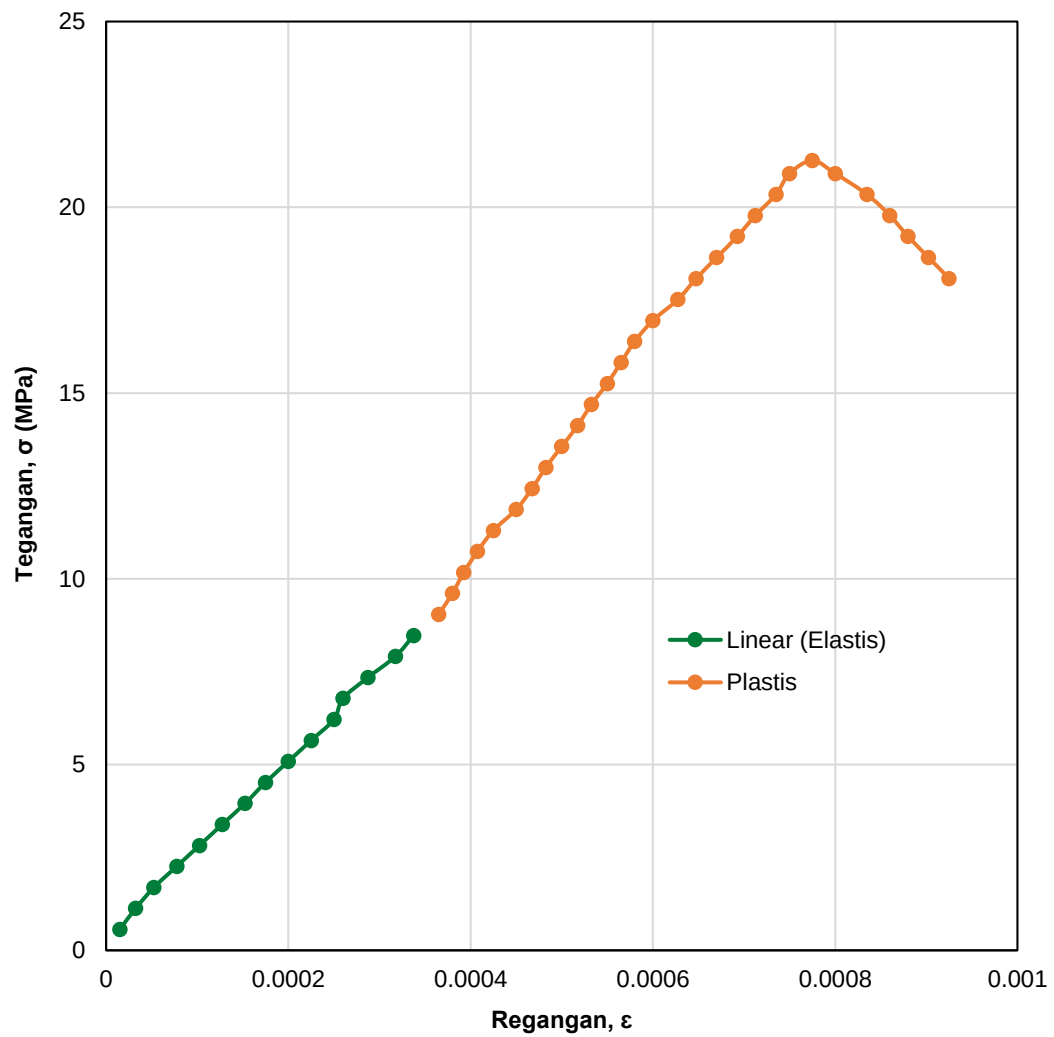
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	16%
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,259 MPa
Diameter	150,100 mm
Tinggi	303,000 mm
Luas	17695,028 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	6	0,0030000	0,0000150	0,565
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,130
30	30000	21	0,0105000	0,0000525	1,695
40	40000	31	0,0155000	0,0000775	2,261
50	50000	41	0,0205000	0,0001025	2,826
60	60000	51	0,0255000	0,0001275	3,391
70	70000	61	0,0305000	0,0001525	3,956
80	80000	70	0,0350000	0,0001750	4,521
90	90000	80	0,0400000	0,0002000	5,086
100	100000	90	0,0450000	0,0002250	5,651
110	110000	100	0,0500000	0,0002500	6,216
120	120000	104	0,0520000	0,0002725	6,782
130	130000	115	0,0575000	0,0002950	7,347
140	140000	127	0,0635000	0,0003175	7,912
150	150000	135	0,0675000	0,0003375	8,477

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	146	0,0730000	0,0003650	9,042
170	170000	152	0,0760000	0,0003800	9,607
180	180000	157	0,0785000	0,0003925	10,172
190	190000	163	0,0815000	0,0004075	10,737
200	200000	170	0,0850000	0,0004250	11,303
210	210000	180	0,0900000	0,0004500	11,868
220	220000	187	0,0935000	0,0004675	12,433
230	230000	193	0,0965000	0,0004825	12,998
240	240000	200	0,1000000	0,0005000	13,563
250	250000	207	0,1035000	0,0005175	14,128
260	260000	213	0,1065000	0,0005325	14,693
270	270000	220	0,1100000	0,0005500	15,259
280	280000	226	0,1130000	0,0005650	15,824
290	290000	232	0,1160000	0,0005800	16,389
300	300000	240	0,1200000	0,0006000	16,954
310	310000	251	0,1255000	0,0006275	17,519
320	320000	259	0,1295000	0,0006475	18,084
330	330000	268	0,1340000	0,0006700	18,649
340	340000	277	0,1385000	0,0006925	19,214
350	350000	285	0,1425000	0,0007125	19,780
360	360000	294	0,1470000	0,0007350	20,345
370	370000	300	0,1500000	0,0007500	20,910
376,175	376175	310	0,1550000	0,0007750	21,259
370	370000	320	0,1600000	0,0008000	20,910
360	360000	334	0,1670000	0,0008350	20,345
350	350000	344	0,1720000	0,0008600	19,780
340	340000	352	0,1760000	0,0008800	19,214

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
330	330000	361	0,1805000	0,0009025	18,649
320	320000	370	0,1850000	0,0009250	18,084

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 2



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 3

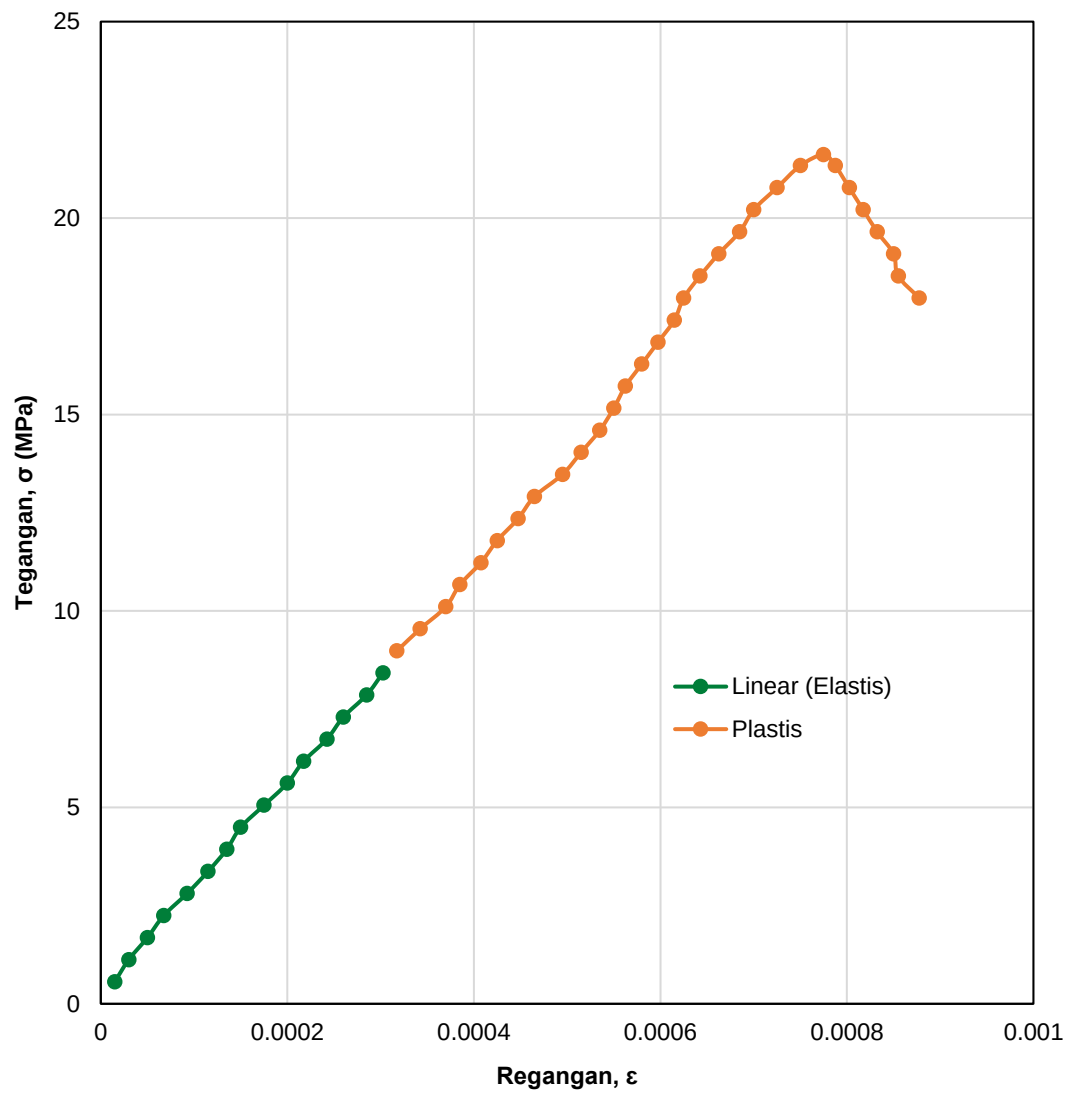
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	16%
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,613 MPa
Diameter	150,600 mm
Tinggi	304,800 mm
Luas	17813,113 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	6	0,0030000	0,0000150	0,561
20	20000	12	0,0060000	0,0000300	1,123
30	30000	20	0,0100000	0,0000500	1,684
40	40000	27	0,0135000	0,0000675	2,246
50	50000	37	0,0185000	0,0000925	2,807
60	60000	46	0,0230000	0,0001150	3,368
70	70000	54	0,0270000	0,0001350	3,930
80	80000	60	0,0300000	0,0001500	4,491
90	90000	70	0,0350000	0,0001750	5,052
100	100000	80	0,0400000	0,0002000	5,614
110	110000	87	0,0435000	0,0002175	6,175
120	120000	97	0,0485000	0,0002425	6,737
130	130000	104	0,0520000	0,0002600	7,298
140	140000	114	0,0570000	0,0002850	7,859
150	150000	121	0,0605000	0,0003025	8,421

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	127	0,0635000	0,0003175	8,982
170	170000	137	0,0685000	0,0003425	9,544
180	180000	148	0,0740000	0,0003700	10,105
190	190000	154	0,0770000	0,0003850	10,666
200	200000	163	0,0815000	0,0004075	11,228
210	210000	170	0,0850000	0,0004250	11,789
220	220000	179	0,0895000	0,0004475	12,350
230	230000	186	0,0930000	0,0004650	12,912
240	240000	198	0,0990000	0,0004950	13,473
250	250000	206	0,1030000	0,0005150	14,035
260	260000	214	0,1070000	0,0005350	14,596
270	270000	220	0,1100000	0,0005500	15,157
280	280000	225	0,1125000	0,0005625	15,719
290	290000	232	0,1160000	0,0005800	16,280
300	300000	239	0,1195000	0,0005975	16,842
310	310000	246	0,1230000	0,0006150	17,403
320	320000	250	0,1250000	0,0006250	17,964
330	330000	257	0,1285000	0,0006425	18,526
340	340000	265	0,1325000	0,0006625	19,087
350	350000	274	0,1370000	0,0006850	19,648
360	360000	280	0,1400000	0,0007000	20,210
370	370000	290	0,1450000	0,0007250	20,771
380	380000	300	0,1500000	0,0007500	21,333
385	385000	310	0,1550000	0,0007750	21,613
380	380000	315	0,1575000	0,0007875	21,333
370	370000	321	0,1605000	0,0008025	20,771
360	360000	327	0,1635000	0,0008175	20,210

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
350	350000	333	0,1665000	0,0008325	19,648
340	340000	340	0,1700000	0,0008500	19,087
330	330000	342	0,1710000	0,0008550	18,526
320	320000	351	0,1755000	0,0008775	17,964

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 3



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 4

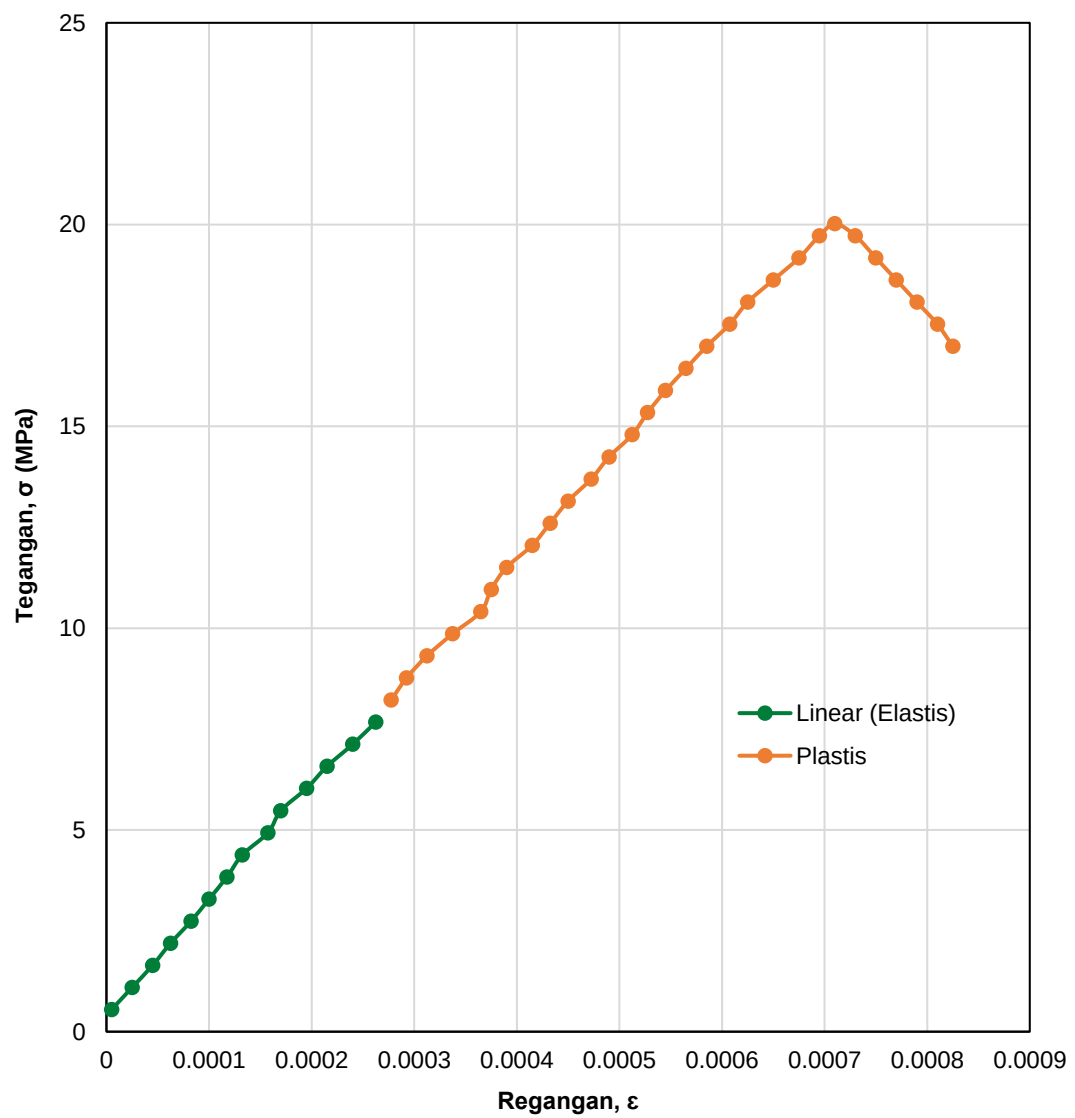
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	16%
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,020 MPa
Diameter	152,450 mm
Tinggi	301,350 mm
Luas	18253,441 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	2	0.0010000	0.0000050	0,548
20	20000	10	0.0050000	0.0000250	1,096
30	30000	18	0.0090000	0.0000450	1,644
40	40000	25	0.0125000	0.0000625	2,191
50	50000	33	0.0165000	0.0000825	2,739
60	60000	40	0.0200000	0.0001000	3,287
70	70000	47	0.0235000	0.0001175	3,835
80	80000	53	0.0265000	0.0001325	4,383
90	90000	63	0.0315000	0.0001575	4,931
100	100000	68	0.0340000	0.0001700	5,478
110	110000	78	0.0390000	0.0001950	6,026
120	120000	86	0.0430000	0.0002150	6,574
130	130000	96	0.0480000	0.0002400	7,122
140	140000	105	0.0525000	0.0002625	7,670
150	150000	111	0.0555000	0.0002775	8,218

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	117	0,0585000	0,0002925	8,765
170	170000	125	0,0625000	0,0003125	9,313
180	180000	135	0,0675000	0,0003375	9,861
190	190000	146	0,0730000	0,0003650	10,409
200	200000	150	0,0750000	0,0003750	10,957
210	210000	156	0,0780000	0,0003900	11,505
220	220000	166	0,0830000	0,0004150	12,053
230	230000	173	0,0865000	0,0004325	12,600
240	240000	180	0,0900000	0,0004500	13,148
250	250000	189	0,0945000	0,0004725	13,696
260	260000	196	0,0980000	0,0004900	14,244
270	270000	205	0,1025000	0,0005125	14,792
280	280000	211	0,1055000	0,0005275	15,340
290	290000	218	0,1090000	0,0005450	15,887
300	300000	226	0,1130000	0,0005650	16,435
310	310000	234	0,1170000	0,0005850	16,983
320	320000	243	0,1215000	0,0006075	17,531
330	330000	250	0,1250000	0,0006250	18,079
340	340000	260	0,1300000	0,0006500	18,627
350	350000	270	0,1350000	0,0006750	19,174
360	360000	278	0,1390000	0,0006950	19,722
365,425	365425	284	0,1420000	0,0007100	20,020
360	360000	292	0,1460000	0,0007300	19,722
350	350000	300	0,1500000	0,0007500	19,174
340	340000	308	0,1540000	0,0007700	18,627
330	330000	316	0,1580000	0,0007900	18,079
320	320000	324	0,1620000	0,0008100	17,531

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
310	310000	330	0,1650000	0,0008250	16,983

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 4



Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 5

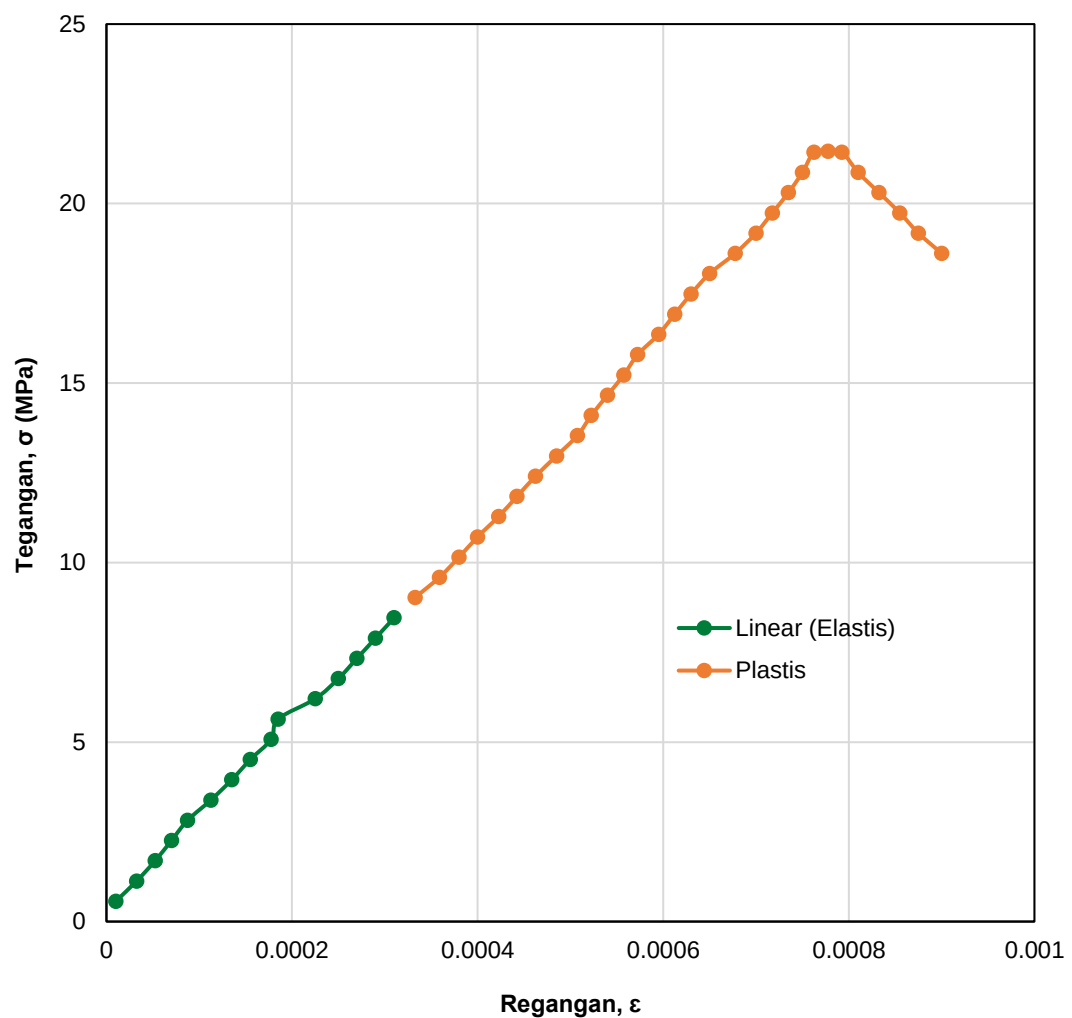
Data Sampel	
Kadar <i>Gypsum</i>	4%
Kadar Karbit	16%
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	25 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,456 MPa
Diameter	150,250 mm
Tinggi	301,700 mm
Luas	17730,413 mm ²
Lo	200 mm

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	4	0,0020000	0,0000100	0,564
20	20000	13	0,0065000	0,0000325	1,128
30	30000	21	0,0105000	0,0000525	1,692
40	40000	28	0,0140000	0,0000700	2,256
50	50000	35	0,0175000	0,0000875	2,820
60	60000	45	0,0225000	0,0001125	3,384
70	70000	54	0,0270000	0,0001350	3,948
80	80000	62	0,0310000	0,0001550	4,512
90	90000	71	0,0355000	0,0001775	5,076
100	100000	74	0,0370000	0,0001850	5,640
110	110000	90	0,0450000	0,0002250	6,204
120	120000	100	0,0500000	0,0002500	6,768
130	130000	108	0,0540000	0,0002700	7,332
140	140000	116	0,0580000	0,0002900	7,896
150	150000	124	0,0620000	0,0003100	8,460

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
160	160000	133	0,0665000	0,0003325	9,024
170	170000	143,5	0,0717500	0,0003588	9,588
180	180000	152	0,0760000	0,0003800	10,152
190	190000	160	0,0800000	0,0004000	10,716
200	200000	169	0,0845000	0,0004225	11,280
210	210000	177	0,0885000	0,0004425	11,844
220	220000	185	0,0925000	0,0004625	12,408
230	230000	194	0,0970000	0,0004850	12,972
240	240000	203	0,1015000	0,0005075	13,536
250	250000	209	0,1045000	0,0005225	14,100
260	260000	216	0,1080000	0,0005400	14,664
270	270000	223	0,1115000	0,0005575	15,228
280	280000	229	0,1145000	0,0005725	15,792
290	290000	238	0,1190000	0,0005950	16,356
300	300000	245	0,1225000	0,0006125	16,920
310	310000	252	0,1260000	0,0006300	17,484
320	320000	260	0,1300000	0,0006500	18,048
330	330000	271	0,1355000	0,0006775	18,612
340	340000	280	0,1400000	0,0007000	19,176
350	350000	287	0,1435000	0,0007175	19,740
360	360000	294	0,1470000	0,0007350	20,304
370	370000	300	0,1500000	0,0007500	20,868
380	380000	305	0,1525000	0,0007625	21,432
380,425	380425	311	0,1555000	0,0007775	21,456
380	380000	317	0,1585000	0,0007925	21,432
370	370000	324	0,1620000	0,0008100	20,868
360	360000	333	0,1665000	0,0008325	20,304

Beban (P)		Pembacaan Dial Gauge	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	μm	mm	-	MPa
350	350000	342	0,1710000	0,0008550	19,740
340	340000	350	0,1750000	0,0008750	19,176
330	330000	360	0,1800000	0,0009000	18,612

Modulus Elastisitas Beton TTM-GK₃ Sampel 5



Lampiran 7 Jadwal Tugas Akhir

Bulan		Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September				Oktober				November			
Minggu ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Kegiatan	Jam Kerja																																								
Penyusunan Proposal																																									
Pengumpulan data	80									4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4														
Pengumpulan refrensi	84	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
Penilaian proposal	4																											2	2												
Penyusunan Tugas Akhir																																									
Penelitian	96																											12	12	12	12	12	12	12	12						
Penyusunan laporan	40																												8	8	8	8	8								
Sidang tugas akhir	4																																			4					
Kolokium	4																																			4					
Pendadaran	6																																				4	2			
Total jam	318	3	6	9	12	15	18	21	24	31	38	45	52	59	66	73	80	87	94	101	108	115	122	129	136	143	150	157	164	178	192	204	224	244	264	284	304	308	312	316	318
		3	6	9	12	15	18	21	24	31	38	45	52	59	66	73	80	87	94	101	108	115	122	129	136	143	150	157	164	178	192	204	224	244	264	284	304	308	312	316	318

Lampiran 8 Proses Gambaran Pembuatan dan Pengujian Benda Uji



Gambar L-8.1 Pembuatan Beton Segar



Gambar L-8.2 Pengujian *Slump* Beton



Gambar L-8.3 Perendaman Sampel Beton



Gambar L-8.4 Sampel Silinder Setelah di *Capping*



Gambar L-8.5 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar L-8.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar L-8.7 Pola Keretakan Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-8.8 Pola Keretakan Pengujian Kuat Tarik Belah Beton