

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN CACAHAN PLASTIK
PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) PADA
BETON YANG MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR
DARI MERAPI DAN CLERENG TERHADAP KUAT
LENTUR, KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTIS
(*THE EFFECT OF ADDITIONAL CRASH OF PET
PLASTIC (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) ON
CONCRETE USING COARD AGGREGATE FROM
MERAPI AND CLERENG ON FLEXIBLE STRENGTH,
COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC
MODULUS*)**

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



**MUHAMMAD RIFKI DARMAWAN
15511136**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN CACAHAN PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) PADA BETON YANG MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR DARI MERAPI DAN CLERENG TERHADAP KUAT LENTUR, KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTIS (*THE EFFECT OF ADDITIONAL CRASH OF PET PLASTIC (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) ON CONCRETE USING COARD AGGREGATE FROM MERAPI AND CLERENG ON FLEXIBLE STRENGTH, COMPRESSIVE STRENGTH AND ELASTIC MODULUS*)

Disusun Oleh

Muhammad Rifki Darmawan

15 511 136

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

Diuji pada tanggal 3 Juni 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II



Novi Rahmayanti
S.T., M.Eng.

NIK: 155111306



Astriana Hardawati
S.T., M.Eng.

NIK: 165111301



Jafar S.T., M.T., M.P.RP
NIK: 185111305

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil



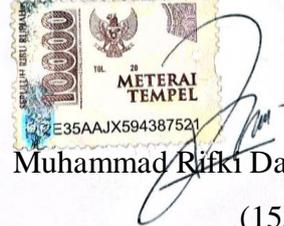
Dr. Ir. Sri Amint Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil dari karya saya sendiri. Adapun beberapa bagian tertentu yang ada di dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dan sesuai dengan norma kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan sebagian atau seluruh Laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya dari saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi dan aturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Februari 2022



Muhammad Rifki Darmawan

(15511136)

DEDIKASI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alamin, Segala puji syukur atas nikmat yang telah diberikan Allah SWT kepada saya.

Dari lubuk hati yang paling dalam, disini saya ingin mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak baik dari Keluarga, Teman , Bapak/Ibu dosen yang membimbing saya hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, maupun semua yang bersangkutan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Terimakasih

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillah rabbil'alam, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Penggunaan Cacahan Plastik *Polyethylene Terephthalate* Pada Beton. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini sangat banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat kritik, saran, serta dorongan semangat baik dari keluarga maupun teman, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta petunjuk sangat berharga terhadap Tugas Akhir ini.
3. Bapak Budi Eko Hariyono dan Ibu Sujiati selaku orang tua dari penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual,
4. Kepada Kakak saya Heri Darmawan, yang selalu memberikan dukungan, semangat, masukan, dan ilmu selama ini,
5. Seluruh dosen pengajar, laboran, asisten, serta staff dan karyawan Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
6. Semua teman-teman seperjuangan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Angkatan 2015.

Demikian yang semua disebutkan turut andil dalam berkontribusi dalam kelancaran penulis mengerjakan Tugas Akhir ini. Semoga Allah Ta'ala memberikan balasan yang setimpal dan menjadikan amal baik kepada semua yang sudah terlibat dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 17 Februari 2022



Muhammad Rifki Darmawan
(15511136)



DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
ABSTRAK	xvii
BAB I_PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Pengaruh Campuran Polyethylene Terephthalate Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri	5
2.2.2 Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Campuran Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)	6
2.2.3 Pengaruh Penambahan PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium	6
2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini	7
BAB III_LANDASAN TEORI	12
3.1 Beton	12

3.2	Material Penyusun Beton	12
3.2.1	Agregat	13
3.2.2	Air	15
3.2.3	Semen Portland	15
3.3	Bahan Tambah	17
3.4	Perencanaan Campuran Adukan Beton	18
3.5	Silinder Sebagai Benda Uji Tekan	18
3.6	Balok Sebagai Benda Uji Lentur	18
3.7	Pengujian Benda Uji	19
3.7.1	Uji Kuat Tekan	19
3.7.2	Uji Kuat Lentur	20
3.7.3	Modulus Elastis Beton	21
3.7.4	Hubungan Kuat Tekan Beton dan Lentur Beton	21
BAB IV METODE PENELITIAN		22
4.1	Metode Penelitian	22
4.2	Alat Pengujian	22
4.3	Tahapan Penelitian	24
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		39
5.1	Tinjauan Umum	39
5.2	Pengujian Agregat Halus	39
5.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	39
5.2.2	Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	40
5.2.3	Pengujian Lolos Saringan no. 200 (Kadar Lumpur)	42
5.3	Pengujian Agregat Kasar	42
5.3.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	42
5.3.2	Pengujian Saringan Agregat Kasar	43
5.4	Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	49
5.5	Pengujian Nilai Slump	50
5.6	Pengujian Kuat Tekan	51
5.7	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	56
5.8	Pengujian Kuat Lentur Beton	64

5.9 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur	64
BAB VI_KESIMPULAN DAN SARAN	71
6.1 Kesimpulan	71
6.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini	8
Tabel 3.1 Batas Gradasi Agregat Kasar	14
Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Halus	14
Tabel 3.3 Bahan-Bahan Utama Penyusun Semen Portland	16
Tabel 4.1 Peralatan Pembuatan Benda Uji	23
Tabel 4.2 Alat Pengujian Benda Uji	23
Tabel 4.3 Tabel perhitungan Mix Design Kerikil Merapi	25
Tabel 4.4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas = 0,5	26
Tabel 4.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	27
Tabel 4.6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus	27
Tabel 4.7 Tabel perhitungan Mix Design Kerikil Clereng	29
Tabel 4.8 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas = 0,5	31
Tabel 4.9 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	31
Tabel 4.10 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus	32
Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji Silinder dan Modulus Elastisitas	34
Tabel 4.12 Jumlah Benda Uji Balok untuk Pengujian Lentur	34
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	39
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	40
Tabel 5.3 Daerah Gradasi Agregat Halus	41
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus	42
Tabel 5.5 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Merapi	43
Tabel 5.6 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Clereng	43

Tabel 5.7 Pengujian Analisa Saringan Saringan Agregat Kasar Merapi	44
Tabel 5.8 Batas Gradasi Agregat Kasar	45
Tabel 5.9 Pengujian Analisa Saringan Saringan Agregat Kasar Clereng	46
Tabel 5.10 Batas Gradasi Agregat Kasar	47
Tabel 5.11 Hasil Jumlah Material Yang Dibutuhkan Menggunakan Kerikil Merapi	49
Tabel 5.12 Hasil Jumlah Material Yang Dibutuhkan Menggunakan Kerikil Clereng	50
Tabel 5.13 Hasil Uji Slump Beton Untuk Silinder Menggunakan Pasir Progo Kerikil Merapi	50
Tabel 5.14 Hasil Uji Slump Beton Untuk Silinder Menggunakan Pasir Progo Kerikil Clereng	51
Tabel 5.15 Hasil Uji Slump Beton Untuk Balok Menggunakan Pasir Progo Kerikil Merapi	51
Tabel 5.16 Hasil Uji Slump Beton Untuk Balok Menggunakan Pasir Progo Kerikil Clereng	51
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari	52
Tabel 5.18 Tegangan dan Regangan Beton Variasi Pasir Progo Kerikil Merapi dan Clereng	55
Tabel 5.19 Hasil Modulus Elastis Berdasarkan Rumus Empiris	60
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 0% (Pasir Progo Kerikil Clereng)	62
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 3% (Pasir Progo Kerikil Clereng)	63
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 5% (Pasir Progo Kerikil Clereng)	63
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 0% (Pasir Progo Kerikil Merapi)	64
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 3% (Pasir Progo Kerikil Merapi)	64
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 5% (Pasir Progo	

Kerikil Merapi)	65
Tabel 5.26 Nilai Hubungan Kuat Tekan Dan Lentur Beton Kerikil Merapi	67
Tabel 5.27 Nilai Hubungan Kuat Tekan Dan Lentur Beton Kerikil Clereng	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Cacahan botol plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	18
Gambar 3.2 Sketsa Benda Uji untuk Pengujian Kuat Tekan	19
Gambar 3.3 Model Pembebanan Balok Dengan System Dua Titik	20
Gambar 4.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) dengan Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, tinggi 300	28
Gambar 4.2 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	28
Gambar 4.3 Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan	29
Gambar 4.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) dengan Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, tinggi 300	32
Gambar 4.5 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	33
Gambar 4.6 Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan	33
Gambar 4.7 Penampang Silinder Beton	34
Gambar 4.8 Penampang Balok Beton	35
Gambar 4.9 Flowchart Tahapan Penelitian	38
Gambar 5.1 Analisa Saringan Agregat Halus	41
Gambar 5.2 Analisa Saringan Agregat Kasar dari Merapi	45
Gambar 5.3 Analisa Saringan Agregat Kasar dari Clereng	47
Gambar 5.4 Kerikil dari Merapi	48
Gambar 5.5 Kerikil dari Clereng	48
Gambar 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari	54
Gambar 5.7 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi 0%	57
Gambar 5.8 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi 3%	57
Gambar 5.9 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi 5%	58

Gambar 5.10 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng 0%	58
Gambar 5.11 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng 3%	59
Gambar 5.12 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng 5%	59
Gambar 5.13 Grafik Kuat Tekan Beton Beton Pasir Progo Kerikil Clereng	66
Gambar 5.14 Grafik Kuat Tekan Beton Beton Pasir Progo Kerikil Merapi	66
Gambar 5.15 Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Untuk Beton Normal dengan Bahan Tambah PET 3%, dan Bahan Tambah PET 5% Menggunakan Kerikil Merapi	69
Gambar 5.16 Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Untuk Beton Normal dengan Bahan Tambah PET 3%, dan Bahan Tambah PET 5% Menggunakan Kerikil Clereng	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	79
Lampiran 2 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Merapi	80
Lampiran 3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Clereng	81
Lampiran 4 Hasil Pengujian Saringan Agregat Halus	82
Lampiran 5 Tabel Gradasi Pasir	83
Lampiran 6 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar Merapi	84
Lampiran 7 Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar Clereng	85
Lampiran 8 Tabel Gradasi Agregat Kasar	86
Lampiran 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasir Progo dan Kerikil Merapi	87
Lampiran 10 Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasir Progo dan Kerikil Clereng	88
Lampiran 11 Hasil Pengujian Kuat Lentur Pasir Progo dan Kerikil Merapi	89
Lampiran 12 Hasil Pengujian Kuat Lentur Pasir Progo dan Kerikil Clereng	90
Lampiran 13 Hasil Pengujian Modulus Elastis	91
Lampiran 14 Hasil Pengujian Modulus Elastis Berdasarkan Rumus Empiris	92
Lampiran 15 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Beton Kerikil Merapi	93
Lampiran 16 Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Beton Kerikil Clereng	94
Lampiran 17 Gambar Alat dan Bahan	95

DAFTAR NOTASI

Notasi:

$f'c$	= Kuat Tekan
A	= Luas Penampang
δI	= kuat lentur benda uji (Mpa)
P	= beban maksimum (kg)
L	= jarak antar dua garis perletakan (mm)
b	= lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
h	= lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
a	= jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur di 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)
E_c	= Modulus elastis beton (Mpa)
Σ	= Tegangan batas sebanding (Mpa)
ϵ	= Regangan batas sebanding
B _k	= Berat pasir kering mutlak (g)
B _t	= Berat piknometer berisi pasir dan air (g)
B	= Berat piknometer berisi air (g)
SSD	= Berat pasir kondisi jenuh kering muka (g)
W ₁	= Berat Agregat Kering Oven (g)
W ₂	= Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (g)
PM 0%	= Pasir Progo Kerikil Merapi tanpa bahan tambah
PC 0%	= Pasir Progo Kerikil Clereng tanpa bahan tambah
PM 3%	= Pasir Progo Kerikil Merapi dengan bahan tambah sebesar 3%
PC 3%	= Pasir Progo Kerikil Clereng dengan bahan tambah sebesar 3%
PM 5%	= Pasir Progo Kerikil Merapi dengan bahan tambah sebesar 5%
PC 5%	= Pasir Progo Kerikil Clereng dengan bahan tambah sebesar 5%

Singkatan :

SNI = Standar Nasional Indonesia

PET = *Polyethylene Terephthalate*

BS EN = *British Standard-European Norm*

ASTM = *American Standard Testing and Material*

MHB = Modulus Halus Butir

MPa = *Mega Pascal*

Kg = Kilogram



ABSTRAK

Pada masa saat ini sampah akibat dari aktivitas manusia semakin banyak karena seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, tingkat konsumsi masyarakat juga semakin tinggi. Untuk mengurangi sampah yang dihasilkan masyarakat perlu adanya pengelolaan sampah lingkungan dengan tujuan utama untuk mengurangi sampah dari masyarakat. PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan salah satu jenis plastik yang dapat didaur ulang. Penggunaannya sebagai bahan tambah pada beton merupakan salah satu cara untuk menanggulangi limbah atau sampah plastik yang ada. Tujuan dari adanya penelitian ini guna untuk mengetahui nilai rata-rata dari kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastis dari beton tersebut. Pada penelitian ini menggunakan variasi dari beberapa jenis agregat meliputi agregat kasar dari Merapi dan Clereng. Penelitian yang dilakukan mengacu pada standar Spesifikasi Umum Binamarga tahun 2003 revisi 3. Hasil pengujian nilai kuat tekan beton, kuat lentur, modulus elastis pada beton normal maupun dengan adanya bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) menunjukkan hasil yang lebih bagus saat beton menggunakan pasir Progo dan agregat kasar dari Merapi dibandingkan dengan menggunakan pasir Progo dan agregat kasar dari Clereng. Sedangkan untuk pengujian nilai kuat tekan beton, kuat lentur, modulus elastis pada beton dengan adanya bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% maupun 5% mengalami penurunan dibandingkan dengan beton normal tanpa adanya bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*).

Kata Kunci: Kuat Tekan, Kuat Lentur, Modulus Elastis, PET.



ABSTRACT

At this time, the amount of waste resulting from human activities is increasing because along with the increase in population, the level of public consumption is also getting higher. To reduce the waste produced by the community, it is necessary to manage environmental waste with the main aim of reducing waste from the community. PET (Polyethylene Terephthalate) is a type of plastic that can be recycled. Its use as an additive in concrete is one way to deal with existing plastic waste or waste. The purpose of this research is to determine the average value of the compressive strength, flexural strength and elastic modulus of the concrete. This study uses variations of several types of aggregates including coarse aggregate from Merapi and Clereng. The research carried out refers to the 2003 Binamarga General Specification standard revision 3. The test results on the value of the compressive strength of concrete, flexural strength, modulus of elasticity of normal concrete as well as with the addition of PET (Polyethylene Terephthalate) showed better results when the concrete used Progo sand and Coarse aggregate from Merapi was compared using Progo sand and coarse aggregate from Clereng. Meanwhile, to test the compressive strength of concrete, flexural strength, modulus of elasticity in concrete with the addition of PET (Polyethylene Terephthalate) of 3% and 5% decreased compared to normal concrete without the addition of PET (Polyethylene Terephthalate).

Keywords: Compressive Strength, Flexural Strength, Elastic Modulus, PET.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era pembangunan saat ini sangat banyak penelitian dan inovasi tentang perkembangan beton untuk bidang konstruksi. Hal tersebut bisa membantu para masyarakat maupun kontraktor dalam pemilihan beton yang memiliki kualitas tinggi. Salah satu penggunaan beton adalah untuk pembuatan struktur jalan beton (*rigid pavement*). Jalan beton merupakan struktur yang selalu ada di setiap daerah, jalan beton sendiri berfungsi sebagai penghubung antar daerah antar kota maupun provinsi. Karakter dari jalan beton (*rigid pavement*) memiliki sifat yang lebih kaku dari perkerasan jalan lentur serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya. Kualitas atau syarat pada perkerasan kaku beton adalah nilai kuat lenturnya ($f_s = 45 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari) sebagaimana yang tercantum pada Spesifikasi Umum Binamarga tahun 2003 revisi 3.

Berdasarkan data Jambeck (2015) Indonesia berada pada peringkat kedua di dunia penghasil sampah plastik ke laut. Hal tersebut menjadikan perhatian para peneliti supaya dapat mengurangi sampah plastik menjadi bahan yang bermanfaat karena sampah plastik merupakan sampah anorganik yang sulit terurai secara cepat. Penelitian dengan bahan tambah contohnya sampah plastik juga dapat mengurangi permasalahan di Indonesia. Sampah plastik yang banyak dijumpai adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*). Jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sering dijumpai pada botol plastik minuman kemasan.

Salah satu upaya untuk memanfaatkan sampah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada penelitian ini dengan menjadikan jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah pada beton. Hal tersebut diharapkan mampu meningkatkan mutu beton yang dilihat dari kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastis. Menurut penelitian Hayu (2016) dengan judul “Pengaruh Campuran *Polyethylene Terephthalate* Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri”. PET

memberikan kontribusi dalam meningkatkan kuat tekan beton dan memertahankan porositas beton agar tetap baik dalam batas komposisi PET 5%. Selain itu karakter yang dimiliki dari cacahan botol PET (*Polyethylene Therephtalate*) yaitu fleksibel, sangat keras dan ringan dimana diharapkan bisa menambah kekuatan dari beton tersebut yang dilihat dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur.

Peneliti menggunakan agregat kasar yang digunakan berasal dari Merapi dan Clereng. Alasan dipilih agregat kasar dari Merapi dan Clereng sebagai bahan penyusun beton karena jenis dari kedua agregat kasar tersebut memiliki karakter yang berbeda diantaranya rongga yang dimiliki dari kedua jenis agregat sangat berbeda dimana kerikil dari Merapi memiliki rongga yang cukup besar dibandingkan dengan kerikil dari Clereng. Sedangkan untuk penyerapan air kerikil dari Merapi juga cukup besar dibandingkan dengan kerikil dari Clereng. Dimana dalam penelitian ini bertujuan agar peneliti dapat membandingkan hasil pengujian beton normal maupun dengan adanya bahan tambah PET (*Polyethylene Therephtalate*) yang menggunakan kerikil dari Merapi dan kerikil dari Clereng. Penelitian ini memakai cacahan plastik jenis PET (*Polyethylene Therephtalate*) yang berasal dari limbah botol plastik minuman sebagai bahan tambah pada beton.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Penambahan Cacahan Plastik PET (*Polyethylene Therephtalate*) Pada Beton yang Menggunakan Agregat Kasar dari Merapi dan Clereng Terhadap Kuat Lentur, Kuat Tekan dan Modulus Elastis”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan pada penelitian ini sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan bahan tambah berupa cacahan botol PET (*Polyethylene Terephtalate*) dan agregat kasar dari Merapi terhadap pengujian kuat tekan, modulus elastis, kuat lentur beton?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan bahan tambah berupa cacahan botol PET (*Polyethylene Terephtalate*) dan agregat kasar dari Clereng terhadap pengujian kuat tekan, modulus elastis, kuat lentur beton?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tambah cacahan botol PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada beton dengan menggunakan agregat kasar dari Merapi terhadap pengujian kuat desak, modulus elastis, kuat lentur beton.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tambah cacahan botol PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada beton dengan menggunakan agregat kasar dari Clereng terhadap pengujian kuat desak, modulus elastis, kuat lentur beton.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pengaruh cacahan botol PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap mutu beton.
2. Memberikan informasi tentang perbandingan dari isian agregat dan jenis semen terhadap mutu beton.
3. Sebagai contoh jenis bahan tambah yang diharapkan kedepannya dapat muncul penelitian – penelitian sejenis yang bisa mempengaruhi terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. f'_c rencana yang direncanakan dalam penelitian ini sebesar 30 MPa berpatokan pada Spesifikasi Umum Binamarga tahun 2003 revisi 3.
2. Penelitian ini membandingkan kuat tekan beton silinder dan kuat lentur balok balok menggunakan bahan tambah cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang nantinya akan dilihat pengaruh nilai kuat tekan beton dan kuat tekan lentur balok beton.
3. Persentase cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah yang digunakan sebesar 0%, 3%, 5%.
4. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
5. Untuk pengujian kuat tekan menggunakan (SNI-1974-2011).

6. Untuk pengujian kuat lentur menggunakan (SNI 03-4431-2011).
7. Metode perhitungan yang digunakan untuk campuran beton adalah metode (SNI 03-2834-2000).
8. Untuk penggunaan semen menggunakan merek semen Dynamix.
9. Agregat kasar yang digunakan adalah Merapi dan Clereng.
10. Ukuran agregat kasar maksimum 20 mm.
11. Agregat halus yang digunakan adalah pasir progo.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan polimer jernih dan kuat yang sering digunakan untuk membuat botol air minum kemasan. Perlu diketahui untuk botol jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) ini hanya dapat digunakan sekali saja, karena bila terlalu sering dipakai apa lagi untuk menyimpan air hangat maupun panas dapat mengakibatkan lapisan polimer yang ada pada botol akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker (Sibuea, 2013).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang PET (*Polyethylene Terephthalate*) pernah dilakukan oleh akademisi sebelumnya, sehingga dapat digunakan sebagai konsep penelitian yang akan dilakukan. Selain itu, ringkasan penelitian terdahulu dibuat untuk membandingkan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian yang sudah ada sebelumnya. Ringkasan penelitian sebelumnya juga bertujuan agar terhindar dari plagiarisme. Berikut ini adalah uraian penelitian yang dilakukan sebelumnya.

2.2.1 Pengaruh Campuran *Polyethylene Terephthalate* Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri

Hayu (2016) menyatakan dalam penelitian ‘Pengaruh Campuran *Polyethylene Terephthalate* Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri’. Penelitian tersebut membahas tentang perilaku beton mampat sendiri atau lebih dikenal dengan *Self Compacting Concrete*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan PET sebagai bahan tambah untuk menghasilkan beton mampat sendiri (*Self Compacting Concrete*). Selain menambahkan PET (*Polyethylene Terephthalate*) penelitian ini juga menggunakan *Viscocrete* sebesar 1%. Persentase PET yang digunakan adalah 0%, 5%, dan 15%. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm. Pengujian yang dilakukan berupa

pengujian beton segar (*Sump Test*, *V-Funnel*, dan *L-Box*) dan beton keras (Tes Tekan hari ke-21 dan 28). Hasil penelitian diketahui bahwa dalam pengetesan beton segar perilaku yang paling baik ditunjukkan oleh beton mampat sendiri dengan komposisi PET sebesar 5%. Sedangkan pada pengujian beton keras, perilaku yang paling baik pada usia 28 hari ditunjukkan oleh PET 5% sebesar 50,348 MPa dan PET 15% sebesar 21,214%.

2.2.2 Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Campuran Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Armudion dan Rahayu (2018) menyatakan dalam penelitian ‘Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Campuran Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)’. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berapa banyak penambahan cacahan limbah botol plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang dapat menghasilkan kuat tarik belah beton tertinggi dan untuk mengetahui berapa persen peningkatan kuat tarik belah beton yang dihasilkan dengan campuran cacahan limbah botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dibandingkan dengan beton normal. Penelitian ini menggunakan bahan tambah cacahan limbah botol plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan persentase campuran 0%, 0,5%, 0,6%, 0,7% terhadap volume silinder beton dengan masing-masing tiga sampel per variasi beton. Campuran bahan tambah berupa cacahan botol plastik ini akan menjadi beton serat yang akan meningkatkan kekuatan tarik belah beton. Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton rata-rata pada persentase 0% yaitu 2,233 Mpa, pada persentase 0,5% yaitu 2,413 Mpa, pada persentase 0,6% yaitu 2,753 Mpa, dan pada persentase 0,7 % yaitu 2,56 Mpa. Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton ini meningkat sebesar 23,29 % dari beton normal pada persentase PET optimum yaitu 0,6 %.

2.2.3 Pengaruh Penambahan PET (*Polyethylene Terephthalate*) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium.

Nasution, dkk (2018) menyatakan dalam penelitian ‘Pengaruh Penambahan PET (*Polyethylene Terephthalate*) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium’. Tujuan dari penelitian ini untuk meneliti pengaruh adanya

bahan tambah PET pada lapisan AC-WC yang dapat meningkatkan nilai stabilitas dan flow dengan menggunakan alat Marshall test dan dapat juga mengurangi alur pada aspal dengan menggunakan alat Wheel Tracking Machine di laboratorium. Penelitian ini diterapkan pada aspal beton (*Asphalt Concrete* atau AC) atau yang biasa disebut LASTON (Lapisan Aspal Beton) yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, bahan pengisi (filler) aspal. Penelitian ini menggunakan PET sebagai bahan tambah. Metode yang dipakai dalam penelitian ini merupakan metode penelitian eksperimen di mana penelitian dilakukan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (B2PJN) Kota Medan, untuk mengetahui nilai stabilitas dan flow dilakukan dengan pengujian Marshall dan untuk mengetahui nilai stabilitas dinamis dan kecepatan deformasi dilakukan dengan pengujian Wheel Track Machine. Dari hasil pengujian didapatkan hasil dengan adanya penambahan PET terhadap campuran dapat meningkatkan nilai stabilitas dan flow. Nilai stabilitas tanpa adanya bahan tambah PET sebesar 905,4 Kg/cm dan dengan adanya bahan tambah PET nilai stabilitas menjadi 1201,3 Kg/cm sedangkan nilai flow tanpa adanya bahan tambah PET sebesar 3,36 dan dengan adanya bahan tambah PET nilai flow 3,96. Nilai stabilitas dinamis juga menjadi meningkat dengan adanya bahan tambah PET dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu 3315,8 lintasan/mm (≥ 2500 lintasan/mm) dengan kecepatan deformasi sebesar 0,0127 mm/menit. Penelitian ini menunjukkan dengan adanya bahan tambah PET dapat meningkatkan kemampuan campuran aspal.

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini

Berdasarkan ketiga penelitian sebelumnya dapat diketahui perbedaan penelitian analisa yang akan diteliti dengan penelitian-penelitian yang sudah ada sebelumnya. Perbedaan penelitian terdahulu dengan yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 0.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini.

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Hayu Gati Annisa (2016)	Pengaruh Campuran <i>Polyethylene Terephthalate</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri	Untuk memanfaatkan PET sebagai bahan tambah untuk menghasilkan beton mampat sendiri (<i>Self Compacting Concrete</i>)	Pengujian ini menggunakan <i>Viscocrete</i> sebesar 1%. Persentase PET yang digunakan adalah 0%, 5%, dan 15%. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm	Dari pengujian ini diketahui perilaku yang paling baik ditunjukkan oleh beton mampat sendiri dengan komposisi PET sebesar 5%. Sedangkan pada pengujian beton keras, perilaku yang paling baik pada usia 28 hari ditunjukkan oleh PET 5% sebesar 50,348 MPa dan PET 15% sebesar 21,214%.

Lanjutan Tabel 0.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini.

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Rocky Armidion dan Tanjung Rahayu (2018)	Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Campuran Limbah Botol Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	Untuk mengetahui berapa banyak penambahan cacahan limbah botol plastik jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) yang dapat menghasilkan kuat tarik belah beton tertinggi dan untuk mengetahui berapa persen peningkatan kuat tarik belah beton yang dihasilkan dengan campuran cacahan limbah botol plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) dibandingkan dengan beton normal	Penelitian ini menggunakan bahan tambah cacahan limbah botol plastik jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) dengan persentase campuran 0%, 0,5%, 0,6%, 0,7% terhadap volume silinder beton	Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton rata-rata dengan batu pecah dari Lotus Purwakarta, dengan ukuran butiran Ø5 mm – 40 mm pada persentase 0% yaitu 2,233 Mpa, pada persentase 0,5% yaitu 2,413 Mpa, pada persentase 0,6% yaitu 2,753 Mpa, dan pada persentase 0,7% yaitu 2,56 Mpa. Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton ini meningkat sebesar 23,29 % dari beton normal pada persentase PET optimum yaitu 0,6 %.

Lanjutan Tabel 0.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini.

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
M. Fadil Natoras Nasution, dkk (2018)	Pengaruh Penambahan PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laborium	Untuk meneliti pengaruh adanya bahan tambah PET pada lapisan AC-WC yang dapat meningkatkan nilai stabilitas dan flow dengan menggunakan alat Marshall test dan dapat juga mengurangi alur pada aspal dengan menggunakan alat Whell Tracking Machine di laboratorium	Metode penelitian eksperimen dimana penelitian dilakukan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (B2PJN) Kota Medan, untuk mengetahui nilai stabilitas dan flow dilakukan dengan pengujian Marshall dan untuk mengetahui nilai stabilitas dinamis dan kecepatan deformasi dilakukan dengan pengujian Whell Track Machine	Hasil pengujian didapatkan hasil dengan adanya penambahan PET terhadap campuran dapat meningkatkan nilai stabilitas dan flow

Lanjutan Tabel 0.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini.

	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Muhammad Rifki Darmawan (2020)	Pengaruh Penambahan Cacahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Pada Beton Yang Menggunakan Agregat Kasar Dari Merapi Dan Clereng Terhadap Kuat Lentur, Kuat Tekan Dan Modulus Elastis	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tambah cacahan botol PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) pada beton dengan menggunakan agregat kasar dari Merapi dan Clereng terhadap pengujian kuat desak, modulus elastis, kuat lentur beton.	Penelitian ini menggunakan bahan tambah cacahan limbah botol plastik jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) dengan persentase campuran 0%, 3%, 5% dari berat semen pada beton normal	Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan adanya penambahan cacahan limbah botol plastik jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) terhadap campuran beton mengurangi mutu dari beton tersebut, baik dari pengujian kuat desak, modulus elastis maupun dari pengujian kuat lentur

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan bahan atau material utama yang digunakan dalam pembuatan bangunan (Susilo, 2016). Beton banyak digunakan sebagai material utama karena sifat beton yang mudah menyesuaikan cetakan yang dibuat dan beton memiliki kekuatan terhadap kuat tekan sehingga sering digunakan pada sebuah bangunan. Beberapa macam bangunan yang menggunakan beton diantaranya bangunan gedung, perkerasan jalan rigid pavement, jembatan, bendungan, bendung, tanggul, maupun konstruksi lainnya. Dalam pembuatannya beton dibagi dalam dua jenis, yaitu beton normal dan beton dengan mutu tinggi. Beton normal merupakan beton dengan berat isi 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang sudah dipecah terlebih dahulu (SNI 03-2834- 2000). Beton dengan kualitas baik merupakan beton yang mempunyai kemampuan dapat menahan kuat desak dari beban berupa tekanan dengan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen (FAS) dan zat tambahan (*admixture*).

Komposisi sebuah beton pada umumnya terdiri dari agregat sekitar 60-75%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25-40% dan rongga udara sekitar 1-2%, sehingga suatu mutu beton dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusun yang digunakan dan pada saat proses pengerjaannya.

3.2 Material Penyusun Beton

Tjokrodimuljo (2007) menyatakan bahwa bahan penyusun untuk kelompok aktif disebut perekat atau pengikat sedangkan untuk kelompok pasif disebut bahan pengisi. Bahan-bahan yang termasuk dalam kelompok aktif diantaranya yaitu semen, air, dan bahan tambah kimia apabila digunakan, sedangkan untuk kelompok pasif ada dua yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).

3.2.1 Agregat

Agregat adalah sebuah bahan yang memiliki komposisi terbesar atau peran penting dalam pembuatan beton sekitar 60-75% yang dapat membuat beton menjadi kompak, selain itu fungsi dari agregat sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat berpengaruh sangat besar terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga dalam pemilihan agregat merupakan bagian penting pada pembuatan beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Pada umumnya agregat dipisahkan menjadi dua, agregat alam dan agregat buatan yang dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Menurut SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung menyebutkan bahwa agregat normal yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat ASTM C33M. Dimensi pada ukuran butiran agregat dibagi menjadi beberapa kategori yaitu, butir yang lebih dari 40 mm disebut batu, butir antara 4,80 – 40,00 mm disebut agregat kasar (kerikil) dan ukuran butir kurang dari 4,80 mm disebut agregat halus (pasir). Batasan ukuran untuk agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) yaitu 4,80 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (Standar ASTM). Agregat yang digunakan untuk bahan pengisi beton harus memiliki bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, kuat, keras, ulet dan gradasinya baik. Agregat kasar (kerikil) dikelompokkan menjadi tiga jenis golongan berdasarkan ukuran maksimalnya. Penggolongan dari agregat kasar (kerikil) diperoleh dari uji gradasi agregat yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95-100	100	-
19	37-70	95-100	100
9,6	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 03-2834-2000

Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang memiliki beraneka ragam ukurannya apabila diayak dengan menggunakan susunan saringan yang telah ditentukan. Hasil saringan agregat halus harus memenuhi gradasi pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Keterangan:

Daerah Gradasi I : Pasir Kasar

Daerah Gradasi II : Pasir agak Kasar

Daerah Gradasi III : Pasir agak Halus

Daerah Gradasi IV : Pasir Halus

3.2.2 Air

Air adalah salah satu bahan yang sangat penting dalam pembuatan beton karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi dari air yang ada pada campuran beton adalah untuk membantu dalam reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar nantinya mudah saat pengerjaan. Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh pada sifat agar adukan beton dapat dikerjakan (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan dari beton tersebut.

Dalam pembuatan beton air harus selalu ada, tidak hanya untuk hidrasi pada semen saja, tetapi air disini juga berguna untuk mengubahnya menjadi suatu pasta pada pembuatan beton. Jumlah air yang ada pada beton dengan faktor air semen 0,65 besarnya sekitar 20% dari berat semen tersebut pada saat umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, besarnya jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah sebesar 35-37% dari berat semen (Paul Nugroho dan Antoni, 2007).

3.2.3 Semen Portland

Menurut ASTM C-150, semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang pada umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen memiliki fungsi untuk merekatkan antara butiran-butiran yang ada pada agregat, selain itu juga semen berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi suatu masa yang padat, walaupun jumlah berkisar 10% dari volume beton (Tjokrodinuljo, 2007). Semen yang akan digunakan pada sebuah bangunan harus sesuai dengan perencanaan yang diminta dan sesuai dengan kegunaan bangunan yang dirancang.

Bahan utama yang dimiliki oleh semen portland yaitu kapur, silika, alumina, magnesia dan terkadang ditambahkan sedikit alkali. Oksida besi juga ditambahkan untuk mengontrol dari komposisi semen dan untuk mengatur waktu ikat dari semen ditambahkan juga gipsum. Bahan-bahan dari penyusun semen portland dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Bahan-Bahan Utama Penyusun Semen Portland

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Oksida	Persen (%)
Soda / potash (Na ₂ O + k ₂ O)	0,5-1

Sumber: Tjokrodimulyo (2007)

Secara garis besar semen portland memiliki senyawa kimia utama yang menyusun semen portland diantaranya yaitu:

1. Trikalsium Silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂.
2. Trikalsium Aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃.
3. Tetrakalsium Aluminoforit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃.
4. Dikalsium Silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂.

Sesuai dengan SNI 15-2049- 2004 penggunaan komposisi senyawa kimia yang berbeda variasinya membuat semen portland dibagi menjadi 5 kategori sebagai berikut.

1. Jenis I, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
2. Jenis II, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

3. Jenis III, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
4. Jenis IV, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.
5. Jenis V, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3.3 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan suatu komponen lain dari penyusun utama pada suatu beton, bahan tambah biasanya berasal dari inovasi untuk menemukan terobosan atau gagasan baru guna mendapatkan mutu ataupun nilai ekonomis pada pembuatan beton. Dalam penelitian bahan tambah yang digunakan berupa cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), adapun penjabaran dari bahan tambah yang digunakan adalah sebagai berikut:

Cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan limbah padat yang berasal dari kegiatan manusia setiap harinya. Mulai banyaknya penelitian yang memanfaatkan cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) ini untuk bahan tambah pada pembuatan beton, namun cacahan botol plastik sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat pada saat digunakan dalam pembuatan beton seperti halnya semen. Tetapi dengan adanya penambahan cacahan botol plastik pada pembuatan beton, diharapkan fungsi dari cacahan botol plastik dapat mengisi celah-celah yang kosong pada campuran agregat yang nantinya akan meningkatkan mutu beton ataupun dapat mengurangi volume agregat yang dipakai. Gambar dari Cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

3.4 Perencanaan Campuran Adukan Beton

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk perencanaan campuran pada adukan beton sesuai dengan standar SNI-03-2834-2000. Salah satu tujuan dari penelitian ini memakai perencanaan campuran pada adukan beton dengan standar SNI-03-2834-2000 agar menghasilkan beton yang sesuai dengan standar yang ada di Indonesia dan mudah saat dikerjakan.

3.5 Silinder Sebagai Benda Uji Tekan

Silinder beton merupakan benda uji yang berfungsi untuk mendapatkan nilai kuat tekan pada suatu beton. Menurut SNI-1974-2011 ada beberapa ukuran untuk silindernya. Untuk pengujian ini menggunakan silinder dengan ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm dan faktor koreksi 1,0.

3.6 Balok Sebagai Benda Uji Lentur

Balok beton merupakan salah satu komponen pada suatu konstruksi. Kuat lentur pada beton dapat ditentukan dari balok beton yang mengalami pembebanan *transversal*. Kuat lentur maksimum dialami oleh serat bawah balok beton yang disebut dengan *modulus of rupture*, yang besarnya bergantung panjang dari balok dan jenis Pembebanan. Pada pengujian kuat lentur ada dua jenis pembebanan yaitu dengan pembebanan satu titik dan dengan pembebanan dua titik. Pada pengujian yang dilakukan menggunakan pembebanan dua titik dengan menggunakan rumus perhitungan sesuai (SNI 03-4431-2011). Untuk pengujian ini menggunakan balok dengan ukuran panjang 400 mm tinggi 100 mm dan lebar 100 mm.

3.7 Pengujian Benda Uji

Dalam penelitian ini ada 3 pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan beton, kuat lentur beton, dan modulus elastis. Adapun dasar teori dari pengujian yang dilakukan dijelaskan sebagai berikut:

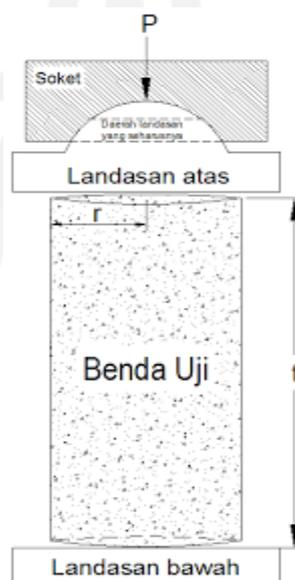
3.7.1 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton merupakan persatuan luas dari besarnya yang mengakibatkan benda uji beton hancur apabila diberi beban dengan gaya tekan yang melebihi kuat desak dari benda uji beton itu sendiri yang di mana beban berasal dari mesin uji.

Nilai f'_c merupakan nilai maksimum dari tegangan dan umumnya terjadi pada saat tegangan desak beton. $\epsilon_c = \pm 0,002$ dan nilai f'_c akan turun sejalan dengan bertambahnya dari tegangan sampai benda uji tersebut hancur pada nilai regangan $\epsilon'_c = 0,003$. Untuk menentukan besarnya pada kuat tekan beton f'_c dapat diketahui dengan menghitung menggunakan rumus berikut ini:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

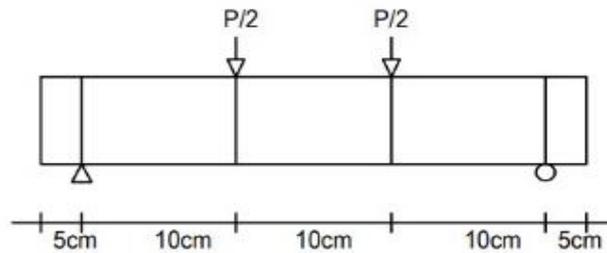
Keterangan f'_c = Kuat Tekan (MPa) P = Beban Maksimum (kN)
 A = Luas Penampang (mm^2)



Gambar 3.2 Sketsa Benda Uji untuk Pengujian Kuat Tekan

3.7.2 Uji Kuat Lentur

Kuat lentur pada beton merupakan nilai lentur maksimum yang dimiliki dari suatu benda uji. Metode dalam pengujian pada uji kuat lentur yaitu metode dengan sistem pembebanan dua titik (SNI 03-4431-2011). Model pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Model Pembebanan Balok Dengan System Dua Titik

Rumus perhitungan yang digunakan pada pengujian kuat lentur adalah:

- a) Untuk pengujian yang di mana bidang patahnya terletak di daerah pusat (berada dalam daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\delta I = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (3.2)$$

- b) Untuk pengujian yang di mana bidang patahnya terletak diluar pusat (berada dalam daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\delta I = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \quad (3.3)$$

Keterangan :

- δI : kuat lentur benda uji (MPa)
- P : beban maksimum (N)
- L : jarak antar dua garis perletakan (mm)
- b : lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

- a : jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur di 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

3.7.3 Modulus Elastis Beton

Modulus elastisitas merupakan rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Hasil dari pengujian modulus elastisitas dipengaruhi oleh umur beton, sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Menurut ASTM C 469-94 hasil dari pengujian modulus elastisitas beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005} \quad (3.4)$$

dengan:

E_c = Modulus elastis (MPa),

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

S_2 = Tegangan pada saat 40% dari tegangan batas (MPa),

ϵ_2 = Regangan longitudinal akibat tegangan sebesar S_2 .

Adapun rumus empiris yang digunakan untuk mencari modulus elastis dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (3.5)$$

dengan:

E_c = Modulus elastis (MPa),

f'_c = Kuat tekan (MPa).

3.7.4 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Lentur Beton

Hubungan kuat tekan dan lentur beton merupakan nilai yang menunjukkan perubahan nilai kuat tekan bila dipengaruhi nilai kuat lentur. Peraturan SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai modulus keruntuhan lentur untuk beton normal (tanpa tulangan) dengan persamaan berikut.

$$\sigma_1 = K \sqrt{f'_c} \quad (3.6)$$

dengan:

σ_1 = Kuat lentur (MPa).

F'_c = Kuat tekan (MPa).

K = Koefisien korelasi, menurut SNI 03-2847-2002 sebesar 0,7



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan langkah umum yang harus dilakukan didalam suatu penelitian, masalah atau fenomena yang lain secara ilmiah untuk mendapatkan suatu hasil yang rasional. Metode dalam penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Metode eksperimen merupakan metode penelitian untuk mendapatkan pengaruh dari varian suatu sampel tertentu terhadap variabel yang lain agar didapatkan hasil yang rasional.

Dalam penelitian ini terdapat dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variable bebas yang dimaksud disini adalah penambahan limbah botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*), agregat kasar, dan agregat halus yang berasal dari dua lokasi di Yogyakarta, yaitu Kulonprogo dan Merapi. Sedangkan variabel terikat berupa kuat tekan beton, modulus elastisitas beton dan kuat lentur beton.

4.2 Alat Pengujian

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam, yaitu sebagai berikut.

1. Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji

Alat yang digunakan ini merupakan penunjang untuk memudahkan saat pembuatan sampel maupun pengujian agar mendapatkan hasil yang maksimal pada beton, adapun alat-alat yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji silinder beton dan benda uji balok untuk pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Peralatan Pembuatan Benda Uji.

No	Nama Alat	Fungsi
1	Alat Tulis.	Menulis maupun menandai benda uji.
2	Ayakan Agregat Kasar.	Mengayak agregat kasar (krekil).
3	Cetakan balok pengujian lentur dan silinder.	Mencetak benda uji untuk pengujian kuat lentur dan tekan.
4	Ember.	Tempat untuk menaruh agregat kasar maupun halus.
5	Gelas ukur.	Mengukur kadar air.
6	Gerobak dorong.	Memudahkan dalam mengangkut material.
7	Kerucut Abrams.	Untuk menguji <i>Slump</i> .
9	Mini <i>Mixer</i> Beton	Untuk membuat campuran atau adonan beton.
10	Sendok Semen (cetok).	Meratakan campuran beton saat dimasukkan ke dalam cetakan.
11	Penggaris/meteran	Mengukur dimensi beton ataupun yang lainnya.
12	Sekop kecil	Mengaduk dan memasukan agregat ke dalam cetakan.
13	Satu Set Ayakan Halus.	Mengayak agregat halus (pasir).
14	Timbangan.	Menimbang bahan uji.
15	Penumbuk (Linggis).	Memadatkan atau menumbuk benda uji.

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

2. Alat-alat yang digunakan saat pengujian ini berguna untuk memudahkan agar mendapatkan hasil dari penelitian ini, untuk alat pengujian benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Alat Pengujian Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Universal Testing Machine.</i>	Menguji kuat lentur beton.
2	<i>Compressing Test Machine (CTM).</i>	Menguji kuat tekan beton.
3	<i>LVDT dan Data Logger</i>	Menguji modulus elastisitas.

4.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap 1

Tahap pertama ini merupakan tahapan persiapan. Persiapan pada langkah ini meliputi persiapan materi, persiapan literatur, persiapan alat dan bahan serta perizinan di Laboratorium Mekanika Bahan, Teknik Sipil FTSP UII yang akan digunakan.

2. Tahap 2

Tahap ini merupakan pemeriksaan dari agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan. Pemeriksaan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut apakah memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan atau tidaknya apabila digunakan dalam pencampuran beton (*mix design*) SNI-03-2834-2000. Berikut adalah macam-macam pengujian dari agregat halus dan agregat kasar.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.
- b. Pengujian analisa saringan agregat kasar.
- c. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
- d. Pengujian analisa saringan agregat halus.
- e. Pengujian berat volume padat/gembur agregat kasar.
- f. Pengujian berat volume padat/gembur agregat halus.
- g. Pengujian lolos saringan no.200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir).

3. Tahap 3

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) (SNI-03-2834-2000) berdasarkan hasil pengujian dari masing-masing bahan yang akan digunakan untuk campuran beton, mulai dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, limbah botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*). Pada perhitungan *mix design* tidak menggunakan garis bantu dari umur beton. Hasil dari *mix design* tersebut berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji. Sebelum dicetak, campuran beton yang telah jadi diuji slump terlebih dahulu.

Adapun perhitungan dari *mix design* menggunakan kerikil Merapi dapat dilihat pada Tabel 4.3, untuk persyaratan dapat dilihat pada Tabel 4.4, 4.5, 4.6 dan grafik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

Tabel 4.3 Tabel perhitungan *Mix Design* Kerikil Merapi

No.	Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder/kubus), f_c	Ditetapkan	30,00	MPa pada 28 hari Bagian cacat 5 persen, $k=1,64$
2	Deviasi Standar, S_r	Butir 4.2.2.1: 1), 2) tabel 1	tanpa data	MPa atau "tanpa data"
3	Nilai Tambah (margin), M	Butir 4.2.3.1: 2)	12,00	MPa
4	Kuat tekan rerata yang ditargetkan, f_{cr}	Butir 4.2.3.1: 3)	42,00	MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Tipe 1	
6	Jenis Agregat:			
	Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	
	Halus	Ditetapkan	Pasir	
7	Faktor Air Semen (FAS)	Diambil nilai yang terendah	0,39	
	Faktor air semen bebas	Tabel 2, Grafik 1	0,39	
	Faktor air semen maks	tabel 4	0,60	
8	Slump	Ditetapkan	60-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20,00	mm
10	Kadar air bebas	Tabel 3, Butir 4.2.3.4	225	kg/m^3
11	Kadar semen	kadar air bebas / FAS	576,92	kg/m^3
12	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-	
13	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	325	kg/m^3
14	Kadar semen digunakan	11:8 atau 7	576,92	kg/m^3
15	FAS yang disesuaikan	Kadar air bebas / kadar semen digunakan	0,39	

Lanjutan Tabel 4.3 Hasil Perencanaan Mix Design Kerikil Merapi

No.	Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai	Satuan
16	Susunan butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	Gradasi 3	
17	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)			
	Agregat Kasar (SSD)	Ditetapkan	2,51	
	Agregat Halus (SSD)	Ditetapkan	2,78	
18	kadar agregat halus	Grafik 13 (Perhatikan ukuran agregat)	32	%
19	kadar agregat kasar	100% - (agregat halus) %	68	%
20	Berat jenis relatif agregat gabungan	\sum (% agregat * BJ agregat)	2,6	
21	Berat isi beton	Grafik 16	2338,46	kg/m ³
	Kadar agregat gabungan, per 1 m ³		1536,54	kg
22	Proporsi campuran, per 1 m ³		Proporsi campuran dengan angka susut	
	Semen (kg)	577	23%	710
	Pasir (kg)	492		605
	Kerikil (kg)	1045		1285
	Air (Liter)	225		277

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				benda uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

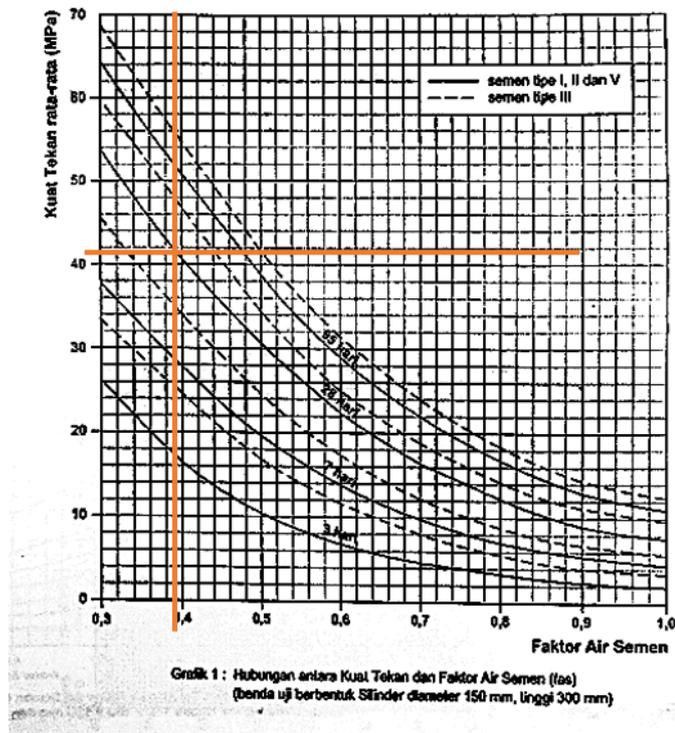
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

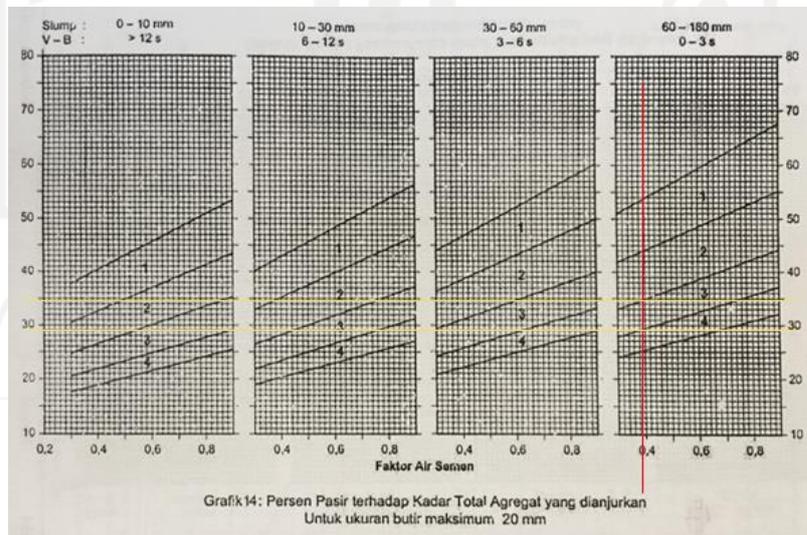
Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m^3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834-2000



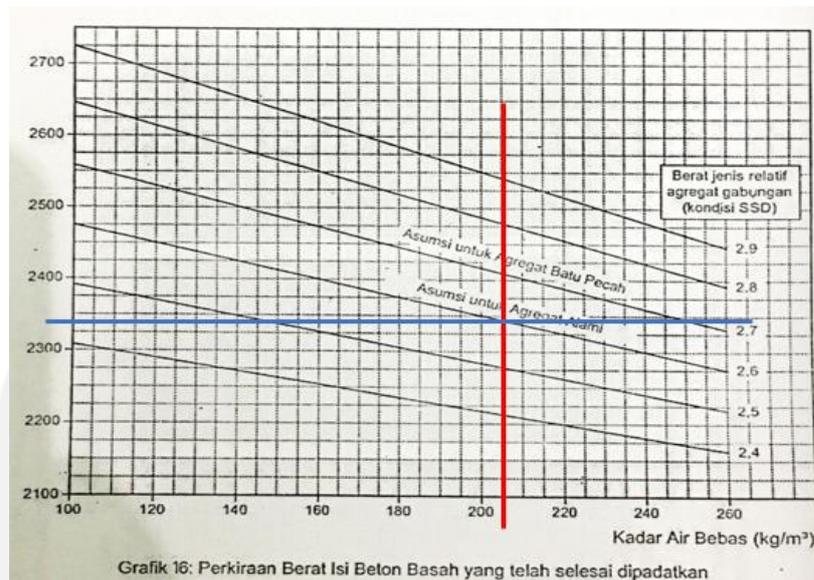
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) dengan Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, tinggi 300

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.3 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Sedangkan untuk perhitungan dengan kerikil Clereng dapat dilihat pada Tabel 4.7, untuk persyaratan dapat dilihat pada Tabel 4.8, 4.9, 4.10 dan grafik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

Tabel 4.7 Tabel perhitungan *Mix Design* Kerikil Clereng

No.	Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder/kubus), f'_c	Ditetapkan	30,00	MPa pada 28 hari Bagian cacat 5 persen, $k=1,64$
2	Deviasi Standar, S_r	Butir 4.2.2.1: 1), 2) tabel 1	tanpa data	MPa atau "tanpa data"
3	Nilai Tambah (margin), M	Butir 4.2.3.1: 2)	12,00	MPa
4	Kuat tekan rerata yang ditargetkan, f'_{cr}	Butir 4.2.3.1: 3)	42,00	MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Tipe 1	
6	Jenis Agregat:			
	Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	
	Halus	Ditetapkan	Pasir	

Lanjutan Tabel 4.7 Hasil Perencanaan Mix Design Kerikil Clereng

No.	Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai	Satuan
7	Faktor Air Semen (FAS)	Diambil nilai yang terendah	0,39	
	Faktor air semen bebas	Tabel 2, Grafik 1	0,39	
	Faktor air semen maks	tabel 4	0,60	
8	Slump	Ditetapkan	60-180	mm
9	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20,00	mm
10	Kadar air bebas	Tabel 3, Butir 4.2.3.4	225	kg/m ³
11	Kadar semen	kadar air bebas / FAS	576,92	kg/m ³
12	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	-	
13	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	325	kg/m ³
14	Kadar semen digunakan	11:8 atau 7	576,92	kg/m ³
15	FAS yang disesuaikan	Kadar air bebas / kadar semen digunakan	0,39	
16	Susunan butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	Gradasi 3	
Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)				
17	Agregat Kasar (SSD)	Ditetapkan	2,61	
	Agregat Halus (SSD)	Ditetapkan	2,78	
18	kadar agregat halus	Grafik 13 (Perhatikan ukuran agregat)	32	%
19	kadar agregat kasar	100% - (agregat halus) %	68	%
20	Berat jenis relatif agregat gabungan	\sum (% agregat * BJ agregat)	2,66	
21	Berat isi beton	Grafik 16	2365,39	kg/m ³
	Kadar agregat gabungan, per 1 m ³		1563,47	kg
22	Proporsi campuran, per 1 m ³		Proporsi campuran dengan angka susut	
	Semen (kg)	577	23%	710
	Pasir (kg)	500		615
	Kerikil (kg)	1063		1308
	Air (Liter)	225		277

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.8 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				benda uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.9 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

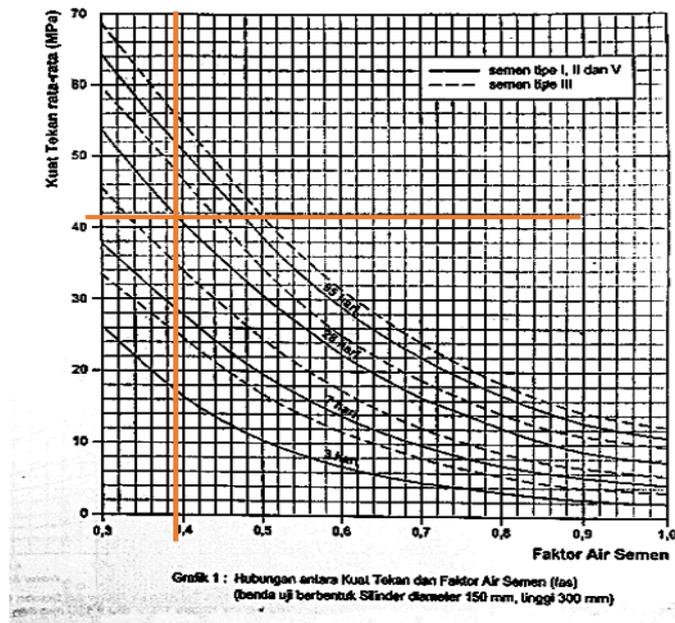
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.10 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

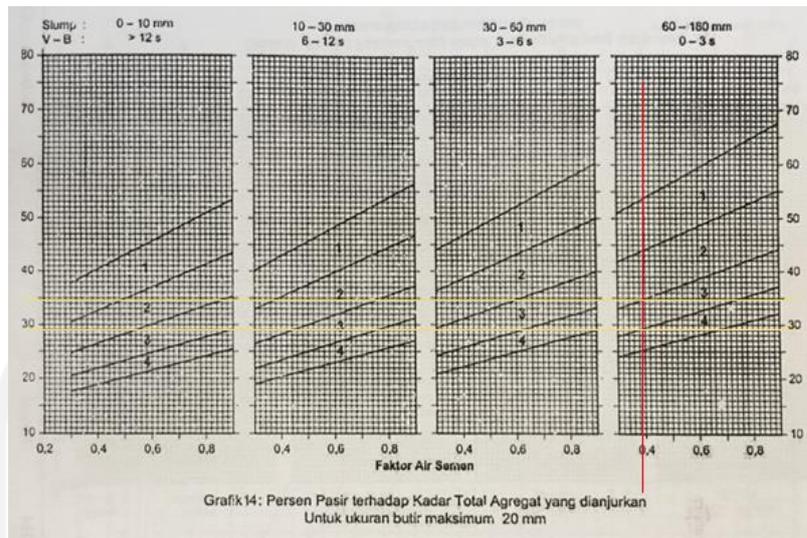
Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834-2000



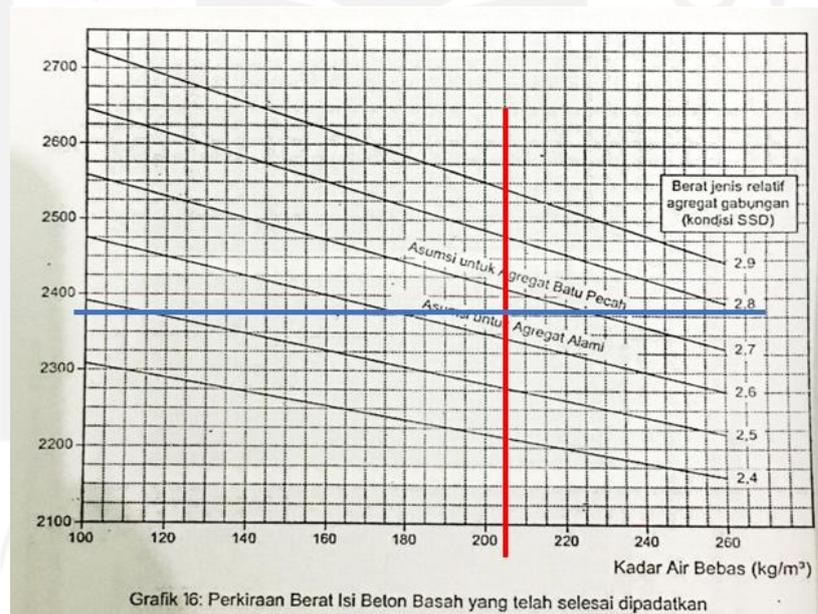
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) dengan Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, tinggi 300

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

4. Tahap 4

Pada tahap ini merupakan menentukan jumlah benda uji silinder beton dan balok beton yang akan dibuat dan diuji dengan rencana yang dapat dilihat pada tabel 4.11 dan table 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji Silinder dan Modulus Elastisitas

No.	Agregat Kasar	Agregat Halus	Variasi PET	Jumlah Sampel
1	Merapi	Progo	0	5
2			3%	5
3			5%	5
5	Clereng	Progo	0	5
6			3%	5
7			5%	5
Total				30

Tabel 4.12 Jumlah Benda Uji Balok untuk Pengujian Lentur

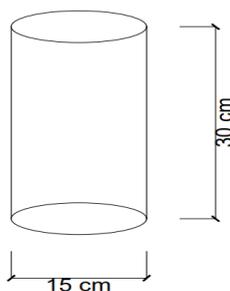
No.	Agregat Kasar	Agregat Halus	Variasi PET	Jumlah Sampel
1	Merapi	Progo	0	5
2			3%	5
3			5%	5
5	Clereng	Progo	0	5
6			3%	5
7			5%	5
Total				30

5. Tahap 5

Pada tahap ini dilakukan persiapan cetakan untuk pembuatan dua benda uji yaitu silinder beton dan balok.

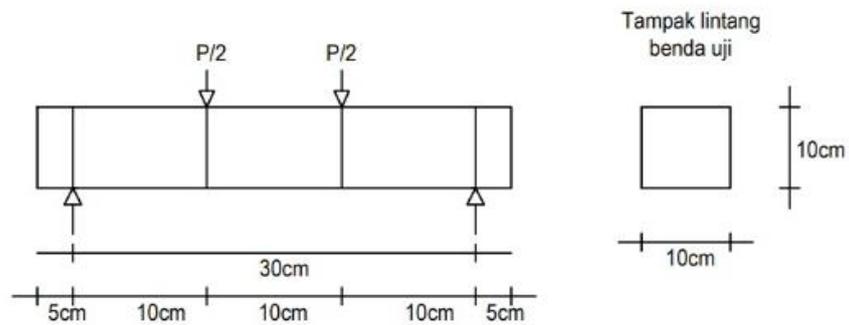
a. Silinder Beton

Untuk cetakan silinder beton yang digunakan sudah dipersiapkan di Laboratorium Mekanika Bahan, Teknik Sipil FTSP UII seperti Gambar 4.1. Pada penggunaan cetakan ini, pertama dengan mengoleskan oli pada seluruh lapisan dalam silinder sebelum menuangkan adonan beton yang bertujuan agar benda uji tidak lengket saat pelepasan. Gambar dari penampang silinder beton dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.

**Gambar 4.7 Penampang Silinder Beton**

b. Balok

Benda uji yang dipakai berbentuk balok yang memiliki dimensi 10x10x40 (cm). Balok benda uji diletakkan pada dua tumpuan dengan jarak antar tumpuan 30 cm. Diantara dua tumpuan tersebut diberi dua beban sehingga seolah-olah balok benda uji terbagi menjadi 3 bagian. Hasil dari beban maksimum yang didapat pada pengujian selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk perhitungan kuat lenturnya. Gambar dari penampang balok beton dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Penampang Balok Beton

Keterangan gambar:

L : jarak antara dua garis perletakan (cm)

b : lebar tampak lintang benda uji (cm)

h : tinggi tampak lintang benda uji (cm)

P : beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji (kg)

6. Tahap 6

Tahap ini merupakan tahap di mana benda uji silinder beton yang sudah dibuat dilakukan pengujian dengan langkah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan benda uji silinder yang akan diuji.
- b. Meletakkan benda uji pada mesin tekan agar siap untuk pengujian.
- c. Menjalankan alat uji dengan penambahan yang konstan.
- d. Melakukan pembebanan hingga benda uji tersebut hancur.

e. Catat angka pada alat uji beban maksimal yang dihasilkan dari benda uji.

7. Tahap 7

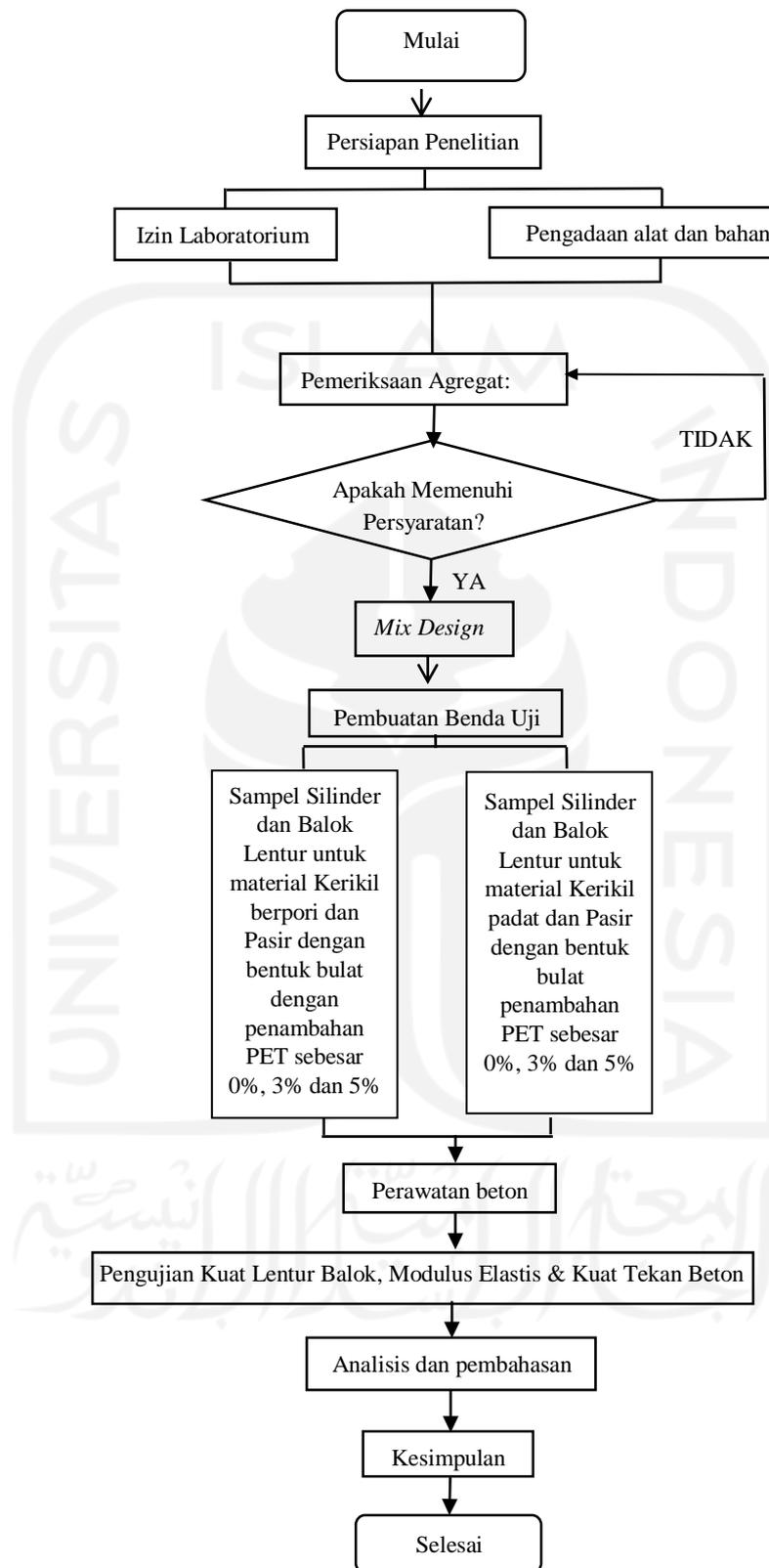
Pada tahap ini merupakan langkah dari pengujian balok lentur. Langkah yang dilakukan dari pengujian balok lentur sebagai berikut:

- a) Hidupkan mesin uji tekan beton, tunggu dahulu sekitar 30 detik.
- b) Letakan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji agar siap untuk pengujian.
- c) Atur pembebanan pada mesin uji tekan untuk menghindari terjadi benturan.
- d) Atur semua katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan dan kecepatannya $8\text{kg/cm}^2 - 10\text{kg/cm}^2$ tiap menit.
- e) Kurangi kecepatan pembebanan pada saat benda uji menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban melambat, sehingga tidak terjadi kejut.
- f) Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum pada alan uji tekan beton.
- g) Ambil benda uji dari mesin uji tekan beton dengan menurunkan plat perletakkan benda uji atau menaikan alat pembebanannya.
- h) Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah benda uji dengan ketelitian 0,25mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil rata-ratanya.
- i) Ukur dan catat jarak antar tampang lintang patah benda uji dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat dibagian tarik pada arah bentang dan ambil rata-ratanya.

8. Tahap 8

Rekapitulasi dan pengolahan data untuk mendapatkan hasil dari penelitian dan untuk menarik kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Tahapan yang sudah direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.9 *flowchart* berikut ini :



Gambar 4.9 *Flowchart Tahapan Penelitian*

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai hasil penelitian yang sudah dilakukan selama proses penelitian berlangsung yang meliputi analisa agregat halus dan agregat kasar, pengujian kuat tekan beton, pengujian kuat lentur beton, dan pengujian modulus elastisitas beton pada saat umur beton 28 hari.

5.2 Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang akan digunakan sebagai material penyusun beton, di mana agregat halus berupa pasir alam yang diperoleh dari Progo. Pengujian yang dilakukan pada agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian berat volume dan pengujian kandungan lumpur, pengujian analisa saringan agregat halus.

5.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Analisis yang digunakan pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 03-1980-1990 sebagai patokan dari pengujian. Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	491
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1034
Berat piknometer berisi air, gram (B)	714
Berat Jenis Curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,73
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) ($500/(B+500-Bt)$)	2,78
Berat Jenis semu ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,87
Penyerapan Air ($(500-Bk)/Bk \times 100\%$)	0,0183%

Berdasarkan dari pengujian yang dilakukan diperoleh berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata sebesar 2,78 gram/cm³ dan penyerapan air rata-rata sebesar

0,0183%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat termasuk dalam kategori agregat normal karena berada di antara 2,4-2,7 (Tjokrodimuljo, 2007).

5.2.2 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pada pengujian analisa saringan agregat halus hasilnya bertujuan untuk mencari nilai modulus halus butir agregat. Data dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
4,80	2	0,10%	0,10%	99,90%
2,40	81	4,05%	4,15%	95,85%
1,20	143	7,15%	11,30%	88,70%
0,60	489	24,45%	35,75%	64,25%
0,30	841	42,05%	77,80%	22,20%
0,17	353	17,65%	95,45%	4,55%
Sisa	91	4,55%	0,00%	0,00%
Jumlah	2000	100,00%	224,55%	

Dari pengujian yang telah dilakukan mendapatkan hasil analisa saringan agregat halus dapat diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{224,55}{100} \\
 &= 2,25
 \end{aligned}$$

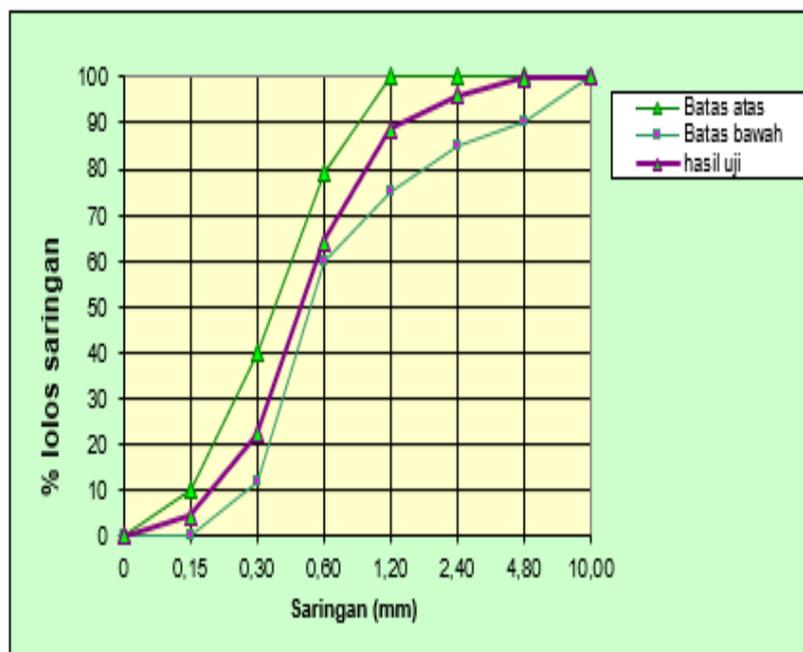
Menurut Tjokrodimuljo (2007) pada umumnya modulus halus butir (MHB) agregat halus memiliki nilai antara 1,5 sampai 3,8. Hasil dari pengujian yang diperoleh adalah sebesar 2,25 yang berarti sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Selain menentukan nilai modulus halus butir, pengujian ini digunakan

untuk mengetahui gradasi agregat halus. Daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Daerah Gradasi Agregat Halus

No. Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
50	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan Tabel 5.3 agregat halus berada didaerah III dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan ukuran lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Analisa Saringan Agregat Halus

5.2.3 Pengujian Lolos Saringan no. 200 (Kadar Lumpur)

Pengujian kandungan kadar lumpur agregat halus menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Hasil dari pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
	Sampel 1
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	495
Persentase Lolos Ayakan no.200	0,01%

Berdasarkan hasil dari pengujian lolos saringan no.200, kandungan lumpur pada agregat halus sebesar 0,01%. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI 1982), disebutkan bahwa kandungan lumpur pada agregat halus tidak diperbolehkan lebih dari 5%. Karena agregat halus dengan kandungan lumpur yang tinggi dapat berpengaruh terhadap kekuatan beton yang dihasilkan.

5.3 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah yang berasal dari Merapi dan Clereng. Pengujian yang akan dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan pengujian analisa saringan agregat kasar.

5.3.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian dari berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang dilakukan menggunakan SNI 03-1969-1990 sebagai patokan. Data hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.5 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Merapi

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4843	4877	4860
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3040	2980	3010
Berat Jenis Curah, ((Bk/Bj) -Ba)	2,47	2,41	2,44
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), (Bj/(Bj-Ba))	2,55	2,48	2,51
Berat Jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,69	2,57	2,63
Penyerapan Air, (Bj-Bk)/Bk x 100%)	0,0324%	0,0252%	0,0288%

Tabel 5.6 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Clereng

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4910	4915	4912,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3075	3091	3083
Berat Jenis Curah, ((Bk/Bj) -Ba)	2,55	2,58	2,56
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), (Bj/(Bj-Ba))	2,60	2,62	2,61
Berat Jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,68	2,70	2,69
Penyerapan Air, (Bj-Bk)/Bk x 100%)	0,0183%	0,0173%	0,0178%

Berdasarkan dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang berasal dari Merapi dan Clereng diperoleh hasil sebesar 2,51 dan 2,61. Hasil dari agregat kasar yang berasal dari Merapi telah memenuhi persyaratan berat jenis agregat normal yaitu antara 2,5 – 2,7 (Tjokrodimuljo, 2007).

5.3.2 Pengujian Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar dari Merapi dan Clereng menggunakan SNI 03-1968-1990 sebagai patokan dan hasil yang didapatkan adalah modulus halus butir (MHB). Data hasil pengujian dari analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.7 Pengujian Analisa Saringan Saringan Agregat Kasar Merapi

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
20,00	4	0,06%	0,06%	99,94%
10,00	4482	66,61%	66,67%	33,33%
4,80	1387	20,61%	87,28%	12,72%
2,40	120	1,78%	89,06%	10,94%
1,20	61	0,91%	89,97%	10,03%
0,60	0	0,00%	89,97%	10,03%
0,30	0	0,00%	89,97%	10,03%
0,15	0	0,00%	89,97%	10,03%
Sisa	675	2,26%	0,00%	0,00%
Jumlah	6729	89,97%	602,94%	

Dari pengujian analisa saringan agregat kasar dari Merapi yang telah dilakukan mendapatkan diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

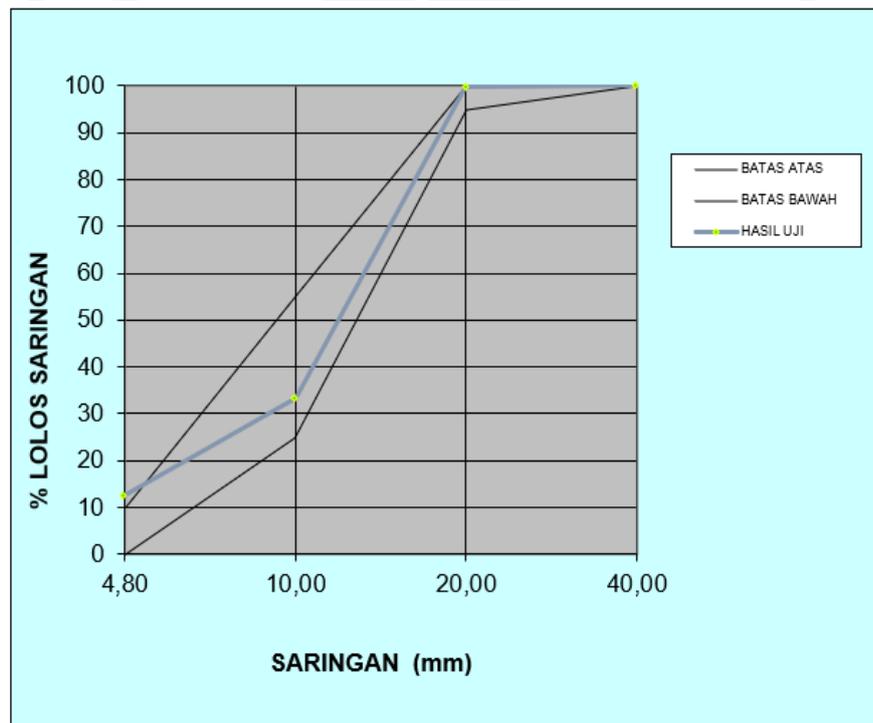
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{602,94}{100} \\
 &= 6,03
 \end{aligned}$$

Pada pengujian analisa saringan agregat kasar dari Merapi didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar sebesar 6,03. Hasil agregat kasar dari Merapi tersebut telah memenuhi persyaratan karena modulus halus butir agregat kasar memiliki nilai normal sebesar 6,0-7,0 (Tjokrodinuljo, 2007). Dari pengujian ini, agregat kasar dari Merapi telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil dari pengujian analisa saringan agregat kasar ini digunakan juga untuk mendapatkan batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95-100	100	-
20	30-70	75-100	100
10	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 5.8 agregat kasar dari Merapi berada dipersyaratan gradasi agregat dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lolos saringan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Analisa Saringan Agregat Kasar dari Merapi

Tabel 5.9 Pengujian Analisa Saringan Saringan Agregat Kasar Clereng

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
20,00	188	3,76%	3,76%	96,24%
10,00	4481	89,62%	93,38%	6,62%
4,80	285	5,70%	99,08%	0,92%
2,40	8	0,16%	99,24%	0,76%
1,20	1	0,02%	99,26%	0,74%
0,60	0	0,00%	99,26%	0,74%
0,30	0	0,00%	99,26%	0,74%
0,15	0	0,00%	99,26%	0,74%
Sisa	37	0,00%	0,00%	0,00%
Jumlah	5000	99,26%	602,94%	

Dari pengujian analisa saringan agregat kasar dari Clereng yang telah dilakukan mendapatkan diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

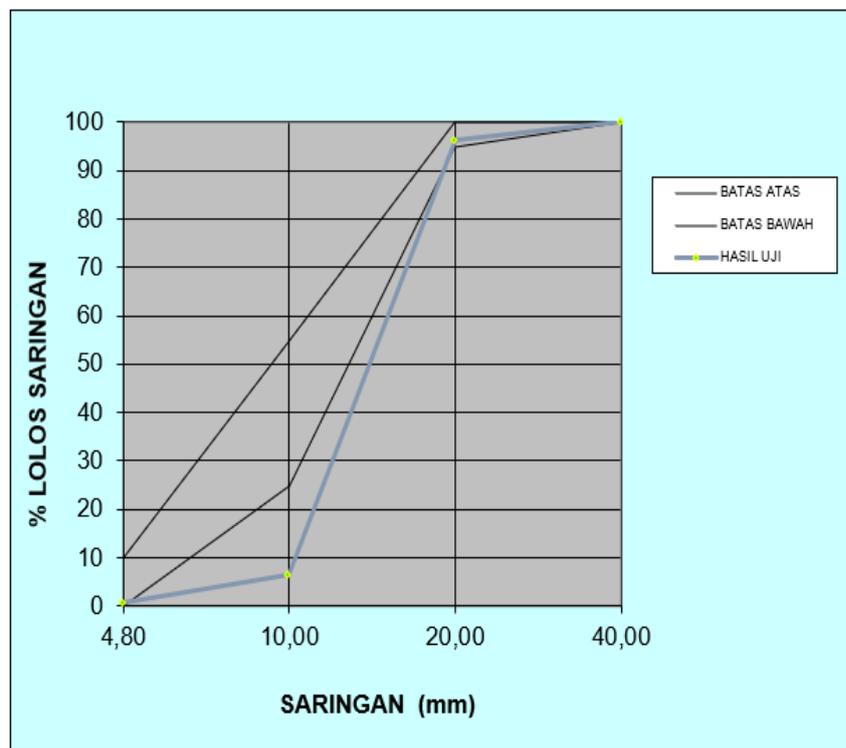
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{692,50}{100} \\
 &= 6,93
 \end{aligned}$$

Pada pengujian analisa saringan agregat kasar dari Clereng didapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar sebesar 6,93. Hasil agregat kasar dari Clereng tersebut telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan karena modulus halus butir agregat kasar memiliki nilai normal sebesar 6,0-7,0 (Tjokrodinuljo, 2007). Hasil dari pengujian analisa saringan agregat kasar ini digunakan juga untuk mendapatkan batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95-100	100	-
20	30-70	75-100	100
10	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 5.10 agregat kasar dari Clereng berada dipersyaratan gradasi agregat dengan ukuran butir maksimum 20 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lolos saringan dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

**Gambar 5.3 Analisa Saringan Agregat Kasar dari Clereng**

Berdasarkan Gambar Analisa Saringan Agregat Kasar dari Clereng dapat diketahui bahwa agregat kasar dari kerikil Clereng memiliki variasi gradasi yang seragam, di mana ukuran paling banyak dari agregat kasar dari kerikil Clereng

tersebut berada pada ukuran 20 mm. Dengan agregat yang memiliki variasi yang seragam berpengaruh terhadap kuat beton yang dihasilkan. Berikut merupakan gambar dari kerikil Merapi dan kerikil Clereng yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan 5.5 berikut.



Gambar 5.4 Kerikil dari Merapi



Gambar 5.5 Kerikil dari Clereng

5.4 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Mix design bertujuan untuk mendapatkan proporsi atau takaran campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton yang sudah direncanakan. Pada perencanaan *mix design* dari penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Perencanaan mutu dari beton yang ditargetkan adalah sebesar 30 MPa. Untuk pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas terdiri dari 5 silinder pada tiap variasi. Sedangkan untuk pengujian kuat lentur balok terdiri dari 5 balok pada tiap variasi. Pengujian dari semua sampel beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil dari perencanaan campuran mix design didapat jumlah material yang dibutuhkan seperti pada Tabel 5.11 dan 5.12 berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil Jumlah Material Yang Dibutuhkan Menggunakan Kerikil Merapi

Uraian Campuran Untuk Silinder Kerikil Merapi	Kadar PET		
	0%	3%	5%
Semen, satuan: kg	18,8	18,8	18,8
Pasir, satuan: kg	16,0	16,0	16,0
Kerikil (merapi), satuan: kg	34,1	34,1	34,1
Air, satuan: kg atau liter	7,3	7,3	7,3
PET, satuan: kg	0,0	0,6	0,9
Total Berat Beton Basah, satuan: kg	76,3	76,8	77,2

Uraian Campuran Untuk Balok Kerikil Merapi	Kadar PET		
	0%	3%	5%
Semen, satuan: kg	14,2	14,2	14,2
Pasir, satuan: kg	12,1	12,1	12,1
Kerikil (merapi), satuan: kg	25,7	25,7	25,7
Air, satuan: kg atau liter	5,5	5,5	5,5
PET, satuan: kg	0,0	0,4	0,7
Total Berat Beton Basah, satuan: kg	57,5	58,0	58,2

Tabel 5.12 Hasil Jumlah Material Yang Dibutuhkan Menggunakan Kerikil Clereng

Uraian Campuran Untuk Silinder Kerikil Clereng	Kadar PET		
	0%	3%	5%
Semen, satuan: kg	18,8	18,8	18,8
Pasir, satuan: kg	16,3	16,3	16,3
Kerikil (merapi), satuan: kg	34,7	34,7	34,7
Air, satuan: kg atau liter	7,3	7,3	7,3
PET, satuan: kg	0,0	0,6	0,9
Total Berat Beton Basah, satuan: kg	77,2	77,7	78,1

Uraian Campuran Untuk Balok Kerikil Clereng	Kadar PET		
	0%	3%	5%
Semen, satuan: kg	14,2	14,2	14,2
Pasir, satuan: kg	12,3	12,3	12,3
Kerikil (merapi), satuan: kg	26,2	26,2	26,2
Air, satuan: kg atau liter	5,5	5,5	5,5
PET, satuan: kg	0,0	0,4	0,7
Total Berat Beton Basah, satuan: kg	58,2	58,6	58,9

5.5 Pengujian Nilai Slump

Tujuan dari pengujian slump adalah untuk menentukan *workability* dari suatu beton agar saat pengecoran beton mudah untuk dikerjakan. Hasil dari pengujian slump yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan 5.14 untuk beton silinder dan 5.15 dan 5.16 untuk beton balok.

Tabel 5.13 Hasil Uji Slump Beton Untuk Sampel Silinder Menggunakan Pasir Progo dan Kerikil Merapi

Campuran Beton	Hasil Slump	Satuan
Beton Normal	12,4	cm
Beton dengan Botol Plastik 3%	12,7	cm
Beton dengan Botol Plastik 5%	12,5	cm

Tabel 5.14 Hasil Uji Slump Beton Untuk Sampel Silinder Menggunakan Pasir Progo dan Kerikil Clereng

Campuran Beton	Hasil Slump	Satuan
Beton Normal	12,1	cm
Beton dengan Botol Plastik 3%	12,9	cm
Beton dengan Botol Plastik 5%	12,7	cm

Tabel 5.15 Hasil Uji Slump Beton Untuk Sampel Balok Menggunakan Pasir Progo dan Kerikil Merapi

Campuran Beton	Hasil Slump	Satuan
Beton Normal	13,1	cm
Beton dengan Botol Plastik 3%	12,9	cm
Beton dengan Botol Plastik 5%	12,3	cm

Tabel 5.16 Hasil Uji Slump Beton Untuk Sampel Balok Menggunakan Pasir Progo dan Kerikil Clereng

Campuran Beton	Hasil Slump	Satuan
Beton Normal	12,5	cm
Beton dengan Botol Plastik 3%	12,7	cm
Beton dengan Botol Plastik 5%	12,3	cm

Menurut syarat dari Nilai Slump pada PBI 1971 N.I.-2, diketahui bahwa beton bisa digunakan untuk elemen struktur pada plat, balok, kolom dan dinding yang mempunyai ukuran slump berupa 15-7,5 cm.

5.6 Pengujian Kuat Tekan

Untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton kondisi normal atau dengan bahan tambah berupa cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% dan 5% dengan jenis agregat kasar yang berbeda.

Pengujian dilakukan pada 30 benda uji dengan umur pada saat 28 hari, agar diharapkan memperoleh hasil nilai uji kuat tekan yang maksimal saat pemberian beban oleh alat tekan. Sebelum pengujian kuat tekan dilakukan, pada bagian atas benda uji dilakukan pengcappingan dengan tujuan agar permukaan bidang tekan benda uji menjadi rata sehingga beban yang akan diterima dapat terdistribusi secara merata. Contoh untuk mencari nilai kuat tekan dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut ini.

Diketahui :

Beban yang diberikan pada beton (P) = 840 kN (840.000 N)

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang beton (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 18074,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan } (\sigma) &= \frac{P}{A} & (3.1) \\ &= \frac{840.000}{18074,28} \\ &= 46,47 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil dari rekapitulasi pengujian kuat tekan beton normal atau menggunakan bahan tambah dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Berat Beton (kg)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
PM 0% (Pasir Progo, Kerikil Merapi)	1	151,7	299,5	18074,28	840	46,47	12,27
	2	150,2	300	17718,61	845	47,69	12,46
	3	150,7	299,7	17836,78	770	43,17	12,39
	4	150,9	300,5	17884,15	920	51,44	12,33
	5	151,2	299,8	17955,33	850	47,34	12,35
							47,22

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Berat Beton (kg)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
PM 3% (Pasir Progo, Kerikil Merapi)	1	150	301,8	17671,46	610	34,52	37,05
	2	151,1	300,3	17931,59	680	37,92	
	3	150,2	298,6	17718,61	625	35,27	
	4	148,8	298,8	17389,85	720	41,40	
	5	151,3	300	17979,09	650	36,15	
PM 5% (Pasir Progo, Kerikil Merapi)	1	149,5	298,6	17553,85	545	31,05	30,74
	2	152	301,3	18145,84	460	25,35	
	3	149,4	299,2	17530,37	505	28,81	
	4	150,5	302,8	17789,46	590	33,17	
	5	150,7	299,7	17836,78	630	35,32	
PC 0% (Pasir Progo, Kerikil Clereng)	1	151,4	302,3	18002,87	575	31,94	33,34
	2	151,2	300,5	17955,33	550	30,63	
	3	151,4	300,3	18002,87	120	39,99	
	4	151,5	300,7	18026,65	630	34,95	
	5	150,6	302,2	17813,11	520	29,19	
PC 3% (Pasir Progo, Kerikil Clereng)	1	152,2	303,8	18193,62	620	34,08	30,15
	2	153,1	300,6	18409,43	520	28,25	
	3	150,2	301,3	17718,61	550	31,04	
	4	152,5	297,2	18265,42	565	30,93	
	5	151,2	301,6	17955,33	475	26,45	
PC 5% (Pasir Progo, Kerikil Clereng)	1	152,4	304,3	18241,47	495	27,14	27,97
	2	151,1	303,3	17931,59	455	25,37	
	3	150,8	300,5	17860,46	525	29,39	
	4	149,4	301,4	17530,37	450	25,67	
	5	148,6	299,4	17343,13	560	32,29	

Berdasarkan hasil nilai rata-rata uji kuat tekan dari variasi beton normal atau beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) yang menggunakan Kerikil dari Merapi dan Kerikil dari Clereng didapatkan nilai pengujian sebagai berikut.

1. Perbandingan hasil uji kuat tekan dengan kerikil dari Merapi dan kerikil dari Clereng.

a. Beton kondisi normal

Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat tekan untuk beton normal hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 33,34 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi dengan nilai sebesar 47,22 Mpa.

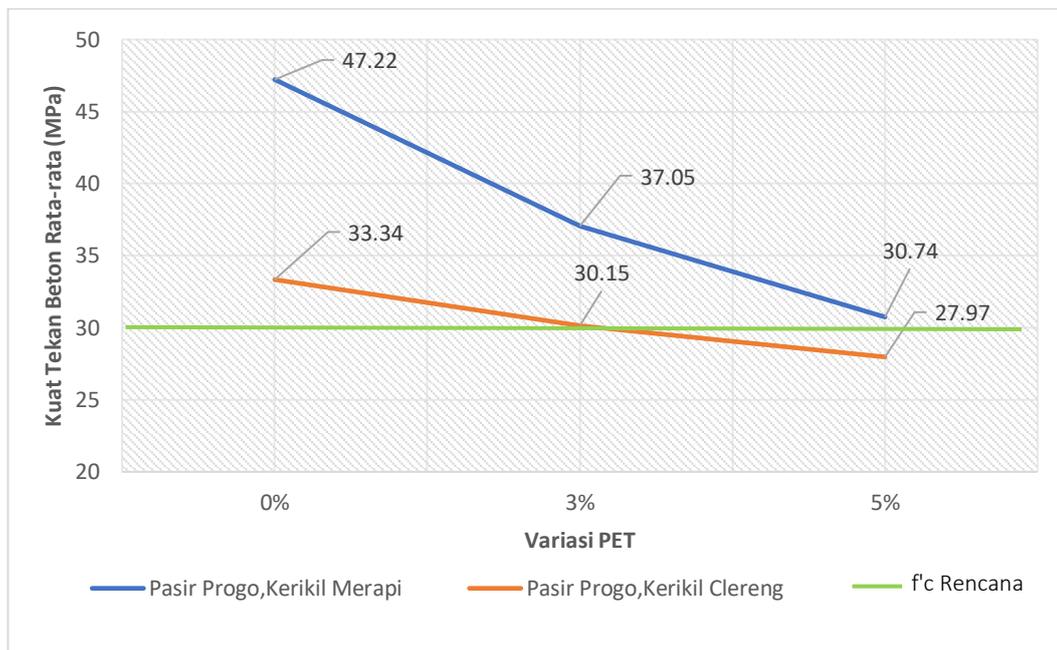
b. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3%

Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat tekan untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3% hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 30,15 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi dengan nilai sebesar 37,05 Mpa.

c. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5%

Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat tekan untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 27,97 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi dengan nilai sebesar 30,74 Mpa.

Hasil dari pengujian nilai rata-rata kuat tekan tertinggi didapatkan nilai sebesar 47,22 MPa dari variasi beton normal dengan Pasir Progo dan Kerikil Merapi dan untuk nilai rata-rata lentur terendah didapatkan nilai sebesar 27,97 MPa dari variasi beton menggunakan cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebagai bahan tambah sebesar 5% dengan Pasir Progo dan Kerikil Clereng. Agar mempermudah membandingkan hasil dari pengujian kuat lentur dapat pada Gambar grafik hasil rata-rata dari pengujian kuat lentur di Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari

Berdasarkan Gambar 5.6 didapatkan hasil nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi pada variasi beton normal yang menggunakan agregat halus dari Progo dan agregat kasar Merapi sebesar 47,22 Mpa, sedangkan dengan adanya penambahan cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% hasil kuat tekan rata-rata sebesar 37,05MPa, dan dengan bahan tambah sebesar 5% hasil kuat tekan rata-rata sebesar 30,74MPa pada pengujian di umur beton 28 hari. Untuk beton dengan agregat kasar dari kerikil Clereng memiliki hasil yang kurang baik dibanding dengan kerikil Merapi di mana untuk beton dengan kondisi normal didapatkan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 33,34MPa, sedangkan dengan adanya penambahan cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% hasil kuat tekan rata-rata sebesar 30,15MPa, dan dengan bahan tambah sebesar 5% hasil kuat tekan rata-rata sebesar 27,94MPa pada pengujian di umur beton 28 hari. Hasil dari pengujian dengan agregat kasar dari kerikil Clereng yang kurang baik disebabkan variasi dari kerikil Clereng seragam dan memiliki bentuk yang pipih atau memanjang sehingga apa bila bagian sisi bagian yang memanjang terkena tekanan atau beban maka mudah patah, dan karena kerikil dari Clereng seragam maka akan mengakibatkan beton tersebut akan memiliki rongga dikarenakan tidak adanya agregat kecil yang mengisi rongga-rongga pada beton

tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah tidak baik digunakan pada pembuatan beton. Karena dengan menggunakan cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) untuk beton dapat mengurangi dari kekuatan beton tersebut. Penyebab menurunnya dari kekuatan beton dikarenakan cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki permukaan bidang yang licin sehingga apabila bahan tambah tersebut ditambahkan terhadap beton mengakibatkan antara agregat satu dengan yang lain tidak bisa merekat dengan kuat atau sempurna.

5.7 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada saat benda uji sudah berumur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan total benda uji 30 buah dari 6 variasi berbeda. Proses pengujian sama seperti pengujian kuat tekan, yang membedakan pengujian ini adalah dengan memasang alat extensometer dan dial gauge pada benda uji sebelum dilakukan pengujian. Tujuan dengan dipasang alat extensometer dan dial gauge untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi pada benda uji sehingga didapatkan hasil nilai regangan dan tegangan. Hasil dari pengujian modulus elastisitas dapat diketahui dengan menghitung dan mencatat pada saat beban beton mencapai 40% dari beban maksimal dan mencatat hasil regangan yang mencapai nilai 5×10^{-5} . Salah contoh perhitungan untuk mencari modulus elastis dengan data dari grafik beton normal dapat menggunakan persamaan berikut ini.

Diketahui:

$$\text{Tegangan pada saat regangan } 0,00005 \text{ (S1)} = 2,18 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan pada saat 40\% dari tegangan batas (S2)} = 9,57 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan longitudinal akibat tegangan sebesar 40\% (\varepsilon_2)} = 0.00038$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastis (Ec)} &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad (3.4) \\ &= \frac{9,57 - 2,18}{0.00038 - 0.00005} \end{aligned}$$

$$= 22340,29 \text{ MPa}$$

Hasil dari pengujian modulus elastisitas yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Tegangan dan Regangan Beton Variasi Pasir Progo Kerikil Merapi dan Clereng

Nama Benda Uji	Kuat Tekan 40% (MPa)	Regangan	Modulus Elastis (Mpa)	Modulus Elastis Rata-rata (Mpa)
PM1 0%	18,59	0,00032	24437,70	25337,80
PM2 0%	19,08	0,00024	33736,15	
PM3 0%	17,27	0,00038	19641,76	
PM4 0%	20,58	0,00034	25975,18	
PM5 0%	18,94	0,00033	22898,23	
PM1 3%	13,81	0,00019	30283,95	23576,70
PM2 3%	15,17	0,00025	29182,72	
PM3 3%	14,11	0,00037	14479,32	
PM4 3%	16,56	0,00040	17204,91	
PM5 3%	14,46	0,00024	26732,62	
PM1 5%	12,42	0,00037	13868,46	14815,57
PM2 5%	10,14	0,00031	14669,28	
PM3 5%	11,52	0,00030	15416,22	
PM4 5%	13,27	0,00041	14140,21	
PM5 5%	14,13	0,00036	15983,69	
PC1 0%	12,78	0,00020	27008,41	27508
PC2 0%	12,25	0,00018	28023,63	
PC3 0%	16,00	0,00023	29167,10	
PC4 0%	13,98	0,00021	26908,10	
PC5 0%	11,68	0,00020	26432,77	
PC1 3%	13,63	0,00022	25727,40	26825,47
PC2 3%	11,30	0,00014	33374,84	
PC3 3%	12,42	0,00022	24338,90	
PC4 3%	12,37	0,00016	26237,13	
PC5 3%	10,58	0,00020	24449,11	
PC1 5%	10,85	0,00021	22176,97	24892,39
PC2 5%	10,15	0,00017	25406,25	
PC3 5%	11,76	0,00022	24184,65	
PC4 5%	10,27	0,00016	27296,75	
PC5 5%	12,92	0,00020	25397,33	

Dari hasil pengujian modulus elastis pada Tabel 5.18 data tersebut dapat digunakan untuk perbandingan dengan menetapkan nilai terendah dan tertinggi diantaranya adalah dari variasi yang sama dan variasi yang berbeda.

a. Beton kondisi normal

Berdasarkan hasil rata-rata uji modulus elastis untuk beton normal yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 25337,80 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 27508 Mpa.

b. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3%

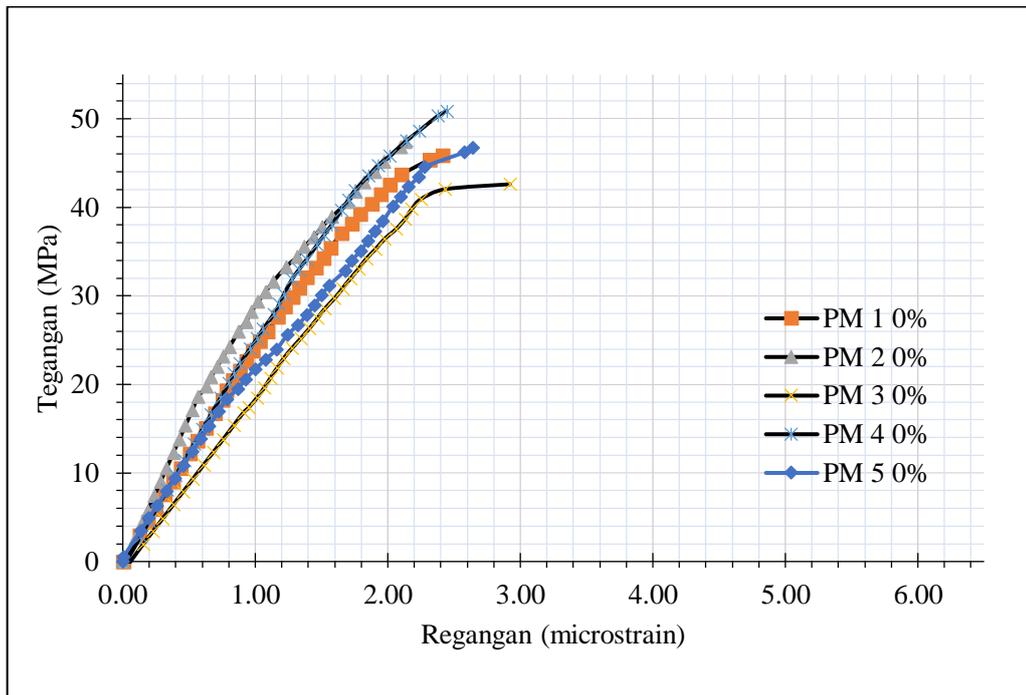
Berdasarkan hasil rata-rata uji modulus elastis untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3% yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 23576,70 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 26825,47 Mpa.

c. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5%

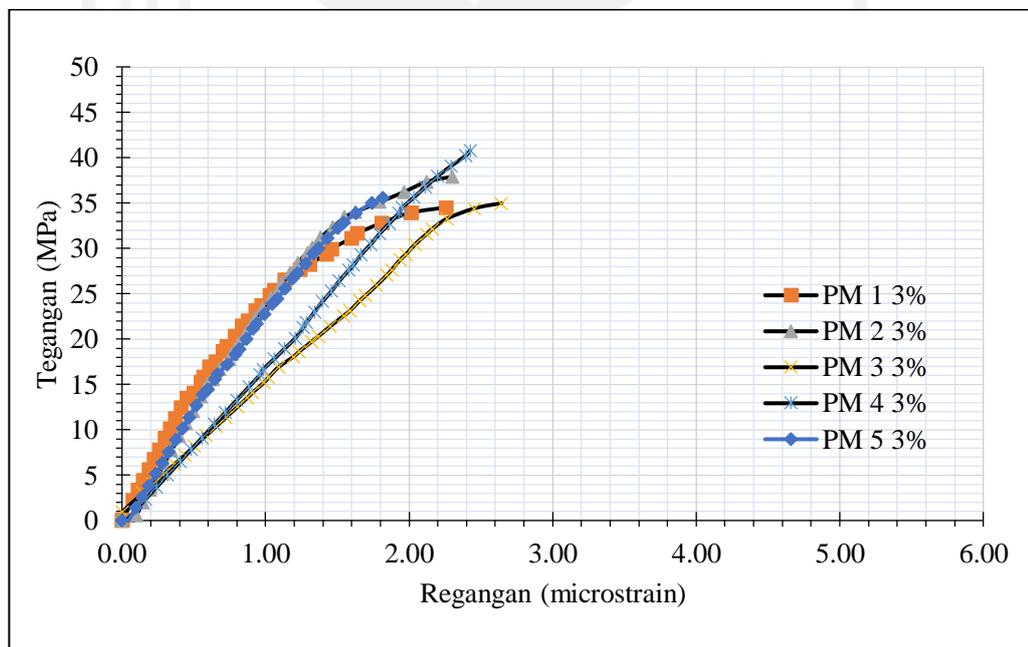
Berdasarkan hasil rata-rata uji modulus elastis untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 14815,57 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 24892,39 Mpa.

Berdasarkan hasil uji modulus elastis hasil terendah terdapat pada beton serbuk kaca dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% menggunakan kerikil Merapi dengan nilai sebesar 14815,57 MPa, hasil tertinggi terdapat pada beton normal menggunakan kerikil Clereng dengan nilai sebesar 27508 MPa.

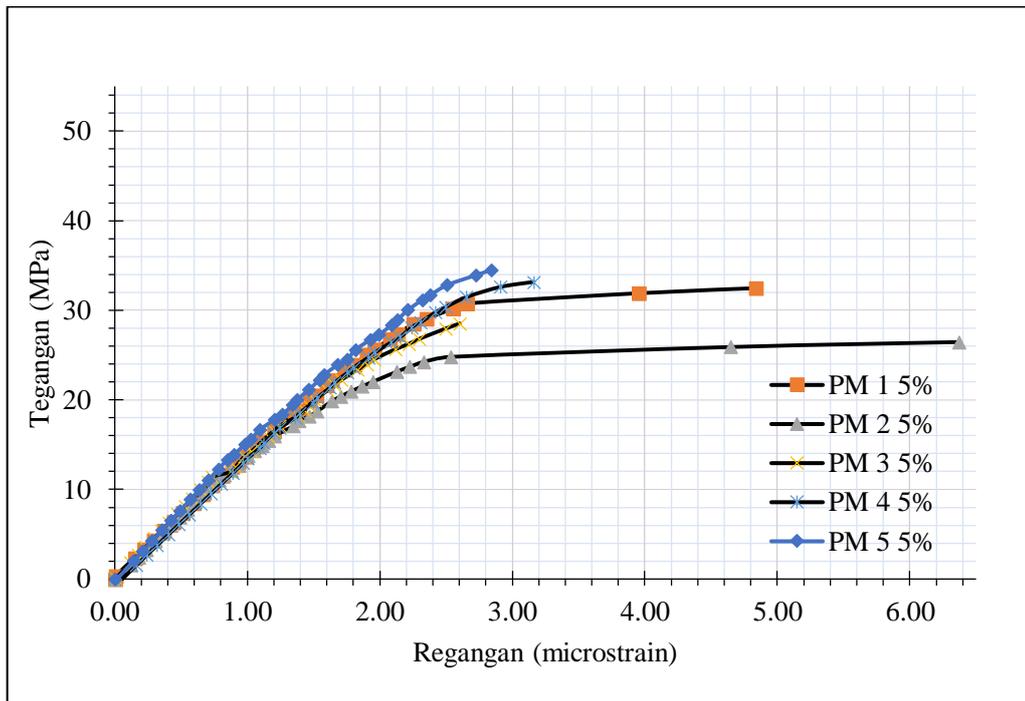
Adapun grafik tegangan dan regangan dari beton dapat dilihat digambar 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 berikut ini.



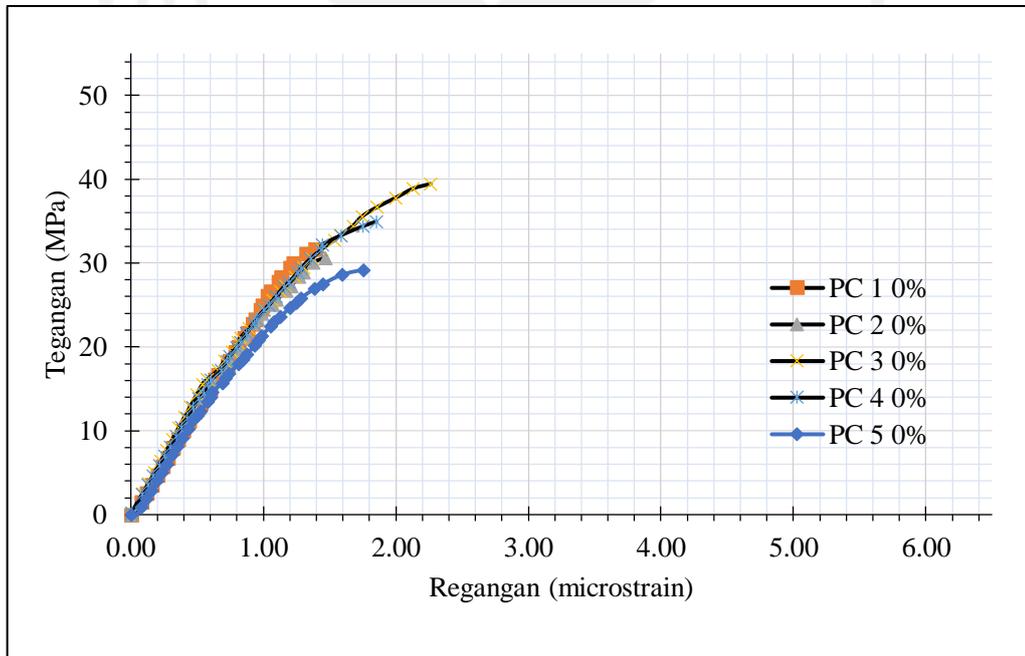
Gambar 5.7 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi dengan PET 0%



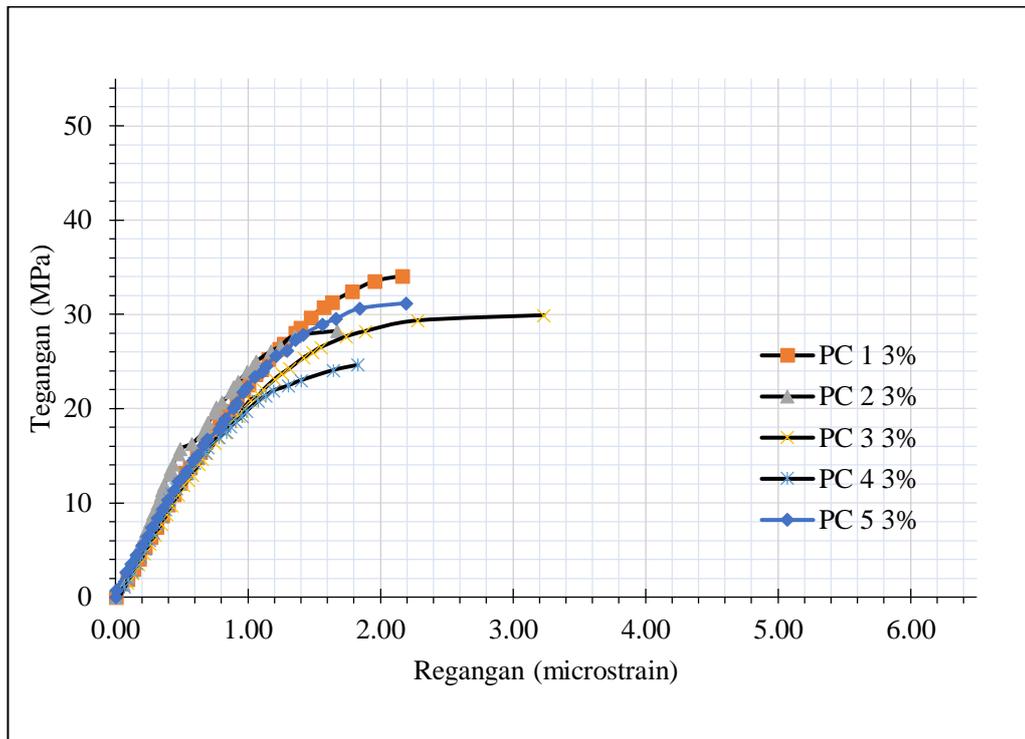
Gambar 5.8 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi dengan PET 3%



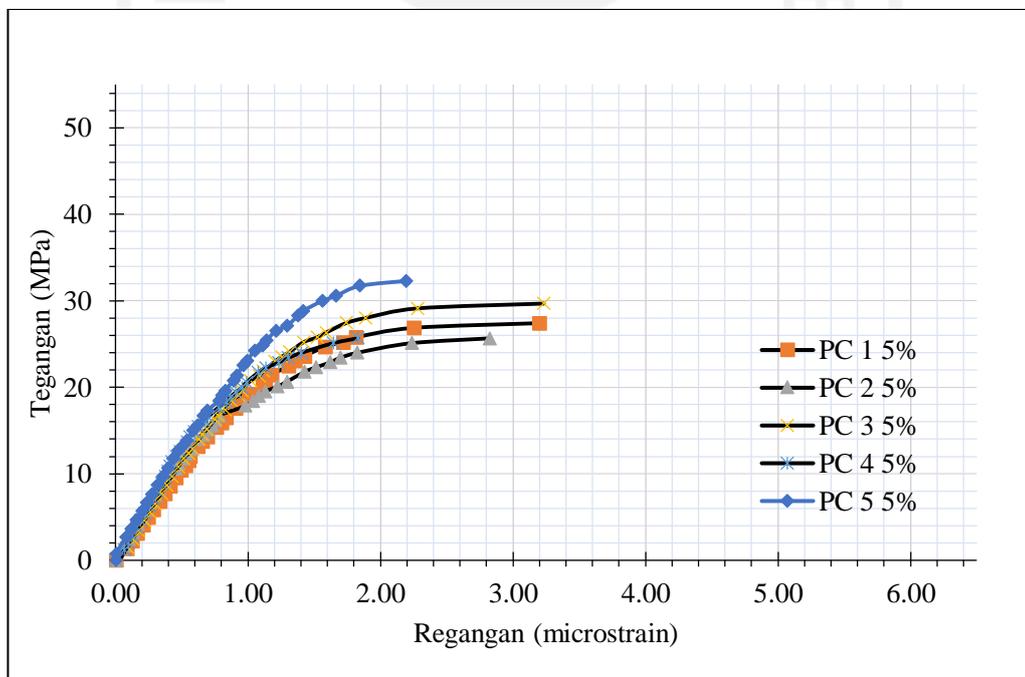
Gambar 5.9 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Merapi dengan PET 5%



Gambar 5.10 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng dengan PET 0%



Gambar 5.11 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng dengan PET 3%



Gambar 5.12 Grafik Tegangan dan Regangan Beton Pasir Progo Kerikil Clereng dengan PET 5%

Dari hasil grafik tegangan dan regangan gambar diatas diketahui nilai paling besar pada beton dengan campuran pasir Progo dan kerikil Clereng dengan kondisi beton normal tanpa adanya bahan tambah cacahan botol plastik bekas PET (Polyethylene Terephthalate). Untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) mengalami penurunan baik dipersentase 3% maupun 5%.

Nilai dari modulus elastis juga bisa didapatkan dengan menggunakan rumus empiris. Adapun contoh perhitungannya menggunakan rumus empiris sebagai berikut.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan (f'c)} &= 46,475 \text{ MPa} \\
 \text{Modulus Elastis (Ec)} &= 4700 \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \sqrt{46,475} \\
 &= 32041,07 \text{ MPa}
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Dengan perhitungan menggunakan rumus di atas dapat diketahui hasil dari modulus elastis bisa dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Modulus Elastis Berdasarkan Rumus Empiris

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastis (Mpa)	Modulus Elastis Rata-rata (Mpa)
PM 1 0%	46,47	32041,07	32285,31
PM 2 0%	47,69	32457,22	
PM 3 0%	43,17	30880,55	
PM 4 0%	51,44	33709,91	
PM 5 0%	47,34	32337,81	
PM 1 3%	34,52	27613,83	28594,63
PM 2 3%	37,92	28942,96	
PM 3 3%	35,27	27914,06	
PM 4 3%	41,40	30242,40	
PM 5 3%	36,15	28259,90	

Tabel 5.2 Lanjutan Hasil Modulus Elastis Berdasarkan Rumus Empiris

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastis (Mpa)	Modulus Elastis Rata-rata (Mpa)
PM 1 5%	31,05	26188,46	26015,62
PM 2 5%	25,35	23664,00	
PM 3 5%	28,81	25225,98	
PM 4 5%	33,17	27067,14	
PM 5 5%	35,32	27932,51	
PC 1 0%	31,94	26562,01	27095,30
PC 2 0%	30,63	26012,52	
PC 3 0%	39,99	29723,04	
PC 4 0%	34,95	27785,01	
PC 5 0%	29,19	25393,91	
PC 1 3%	34,08	27436,84	25783,17
PC 2 3%	28,25	24979,25	
PC 3 3%	31,04	26185,71	
PC 4 3%	30,93	26140,10	
PC 5 3%	26,45	24173,97	
PC 1 5%	27,14	24483,33	24832,06
PC 2 5%	25,37	23675,23	
PC 3 5%	29,39	25481,87	
PC 4 5%	25,67	23812,70	
PC 5 5%	32,29	26707,19	

Dari Tabel 5.13 untuk hasil modulus elastis berdasarkan rumus empiris dapat digunakan untuk perbandingan dengan menetapkan nilai terendah dan tertinggi diantaranya adalah dari variasi yang sama dan variasi yang berbeda.

a. Beton kondisi normal

Berdasarkan hasil modulus elastis dengan menggunakan rumus empiris untuk beton normal yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 32285,31 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 27095,30 Mpa.

b. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3%

Berdasarkan hasil modulus elastis dengan menggunakan rumus empiris untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene

Terephthalate) sebesar 3% yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 28594,63 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 25783,17 Mpa.

- c. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5%

Berdasarkan hasil modulus elastis dengan menggunakan rumus empiris untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% yang menggunakan kerikil dari Merapi didapat nilai sebesar 26015,62 MPa dan hasil dari benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 24832,06 Mpa.

Berdasarkan hasil dari nilai modulus elastis dapat ditetapkan bahwa nilai modulus elastis berdasarkan hasil perhitungan rumus empiris lebih tinggi dari pada hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium. Secara teori semakin besar kuat tekan maksimum beton maka nilai modulus elastis semakin besar tetapi nilai modulus elastis juga dipengaruhi faktor dari besar regangan yang berbanding terbalik dengan nilai modulus elastis. Pada nilai modulus elastis berdasarkan pengujian beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% menggunakan kerikil Clereng memiliki nilai terendah dikarenakan nilai regangan yang besar dan nilai kuat tekan maksimum tidak mengalami peningkatan yang besar.

5.8 Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan saat beton berumur 28 hari, yang di mana sebelum dilakukan pengujian beton dirawat dengan cara direndam dalam air sampai waktu yang telah ditentukan. Pada pengujian kuat lentur beton ada 6 variasi dengan total 30 sampel atau benda uji dengan ukuran panjang 400 mm, lebar 100 mm dan tinggi 100 mm. Pengujian kuat lentur beton menggunakan metode pembebanan dua titik untuk mengetahui beban maksimum dari benda uji sampai hancur dan terbelah pada saat menerima beban. Salah contoh perhitungan untuk mencari kuat lentur dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban maksimum (P)} &= 14764,05 \text{ kg} \\
 \text{Jarak antar dua garis perletakan (L)} &= 401 \text{ mm} - 100 \text{ mm} \\
 &= 301 \text{ mm} \\
 \text{Lebar tampang lintang patah arah horizontal (b)} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Lebar tampang lintang patah arah vertikal (h)} &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Kuat lentur beton } (\delta I) &= \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (3.2) \\
 &= \frac{14764,05 \times 301}{100 \times 100^2} \\
 &= 4,44 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil rekapitulasi pengujian kuat lentur beton dari beberapa varian sampel dapat dilihat pada Tabel 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 berikut.

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 0%
(Pasir Progo Kerikil Clereng)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	404	401	402
2	Tinggi benda uji (mm)	100	100	102
3	Lebar benda uji (mm)	98	100	99
4	Berat benda uji (kg)	9,174	9,238	9,327
5	Berat volume (kg/m ³)	2317,13	2303,74	2297,63
6	Panjang bentang (mm)	304	301	302
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	101,3	100,3	100,6
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	101,3	100,3	100,6
9	Beban maksimum (kgf)	1630	1505	1715
10	Beban maksimum (N)	15990,3	14764,1	16824,15
11	Kuat lentur (Mpa)	4,96	4,44	4,93
12	Rata-rata (Mpa)	4,78		

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 3%
(Pasir Progo Kerikil Clereng)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	404	399	400
2	Tinggi benda uji (mm)	102	104	99
3	Lebar benda uji (mm)	99	99	100
4	Berat benda uji (kg)	9,465	9,315	9,248
5	Berat volume (kg/m ³)	2320,08	2267,47	2335,35
6	Panjang bentang (mm)	304	299	300
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	101,3	99,6	100
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	101,3	99,6	100
9	Beban maksimum (kgf)	1630	1400	1565
10	Beban maksimum (N)	15990,3	13734	15352,7
11	Kuat lentur (Mpa)	4,72	3,84	4,70
12	Rata-rata (Mpa)	4,42		

**Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PC 5%
(Pasir Progo Kerikil Clereng)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	405	401	400
2	Tinggi benda uji (mm)	100	99	102
3	Lebar benda uji (mm)	100	98	95
4	Berat benda uji (kg)	9,215	8,961	8,737
5	Berat volume (kg/m ³)	2275,31	2303,30	2254,13
6	Panjang bentang (mm)	305	301	300
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	101,6	100,3	100
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	101,6	100,3	100
9	Beban maksimum (kgf)	1415	1165	1222,5
10	Beban maksimum (N)	13881,2	11428,7	11992,7
11	Kuat lentur (Mpa)	4,23	3,58	3,64
12	Rata-rata (Mpa)	3,82		

**Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 0%
(Pasir Progo Kerikil Merapi)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	400	400	405
2	Tinggi benda uji (mm)	102	100	103
3	Lebar benda uji (mm)	101	102	101
4	Berat benda uji (kg)	9,562	9,722	9,980
5	Berat volume (kg/m ³)	2320,42	2382,84	2368,74
6	Panjang bentang (mm)	300	300	305
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	100	100	101,6
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	100	100	101,6
9	Beban maksimum (kgf)	1610	1840	2070
10	Beban maksimum (N)	15794,1	18050,4	20306,7
11	Kuat lentur (Mpa)	4,51	5,31	5,78
12	Rata-rata (Mpa)	5,2		

**Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 3%
(Pasir Progo Kerikil Merapi)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	401	400	400
2	Tinggi benda uji (mm)	102	100	100
3	Lebar benda uji (mm)	100	96	99
4	Berat benda uji (kg)	9,457	9,051	9,278
5	Berat volume (kg/m ³)	2312,11	2357,03	2342,93
6	Panjang bentang (mm)	301	300	300
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	100,3	100	100
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	100,3	100	100
9	Beban maksimum (kgf)	1470	1380	1625
10	Beban maksimum (N)	14420,7	13537,8	15941,3
11	Kuat lentur (Mpa)	4,17	4,23	4,83
12	Rata-rata (Mpa)	4,41		

**Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Variasi PM 5%
(Pasir Progo Kerikil Merapi)**

No.	Uraian	Hasil Pengamatan		
		1	2	3
1	Panjang benda uji (mm)	402	403	402
2	Tinggi benda uji (mm)	101	99	100
3	Lebar benda uji (mm)	98	98	100
4	Berat benda uji (kg)	9,315	9,202	9,251
5	Berat volume (kg/m ³)	2341,04	2353,51	2301,24
6	Panjang bentang (mm)	302	303	302
7	Jarak tumpuan P1 ke tumpuan 1 (mm)	100,6	101	100,6
8	Jarak tumpuan P2 ke tumpuan 2 (mm)	100,6	101	100,6
9	Beban maksimum (kgf)	1360	1290	1375
10	Beban maksimum (N)	13341,6	12654,9	13488,8
11	Kuat lentur (Mpa)	4,03	3,99	4,07
12	Rata-rata (Mpa)	4,03		

Berdasarkan hasil nilai rata-rata uji kuat lentur dari variasi beton normal atau beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) yang menggunakan Kerikil dari Merapi dan Kerikil dari Clereng didapatkan nilai pengujian sebagai berikut.

2. Perbandingan hasil uji kuat lentur dengan kerikil dari Merapi dan kerikil dari Clereng.

d. Beton kondisi normal

Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat lentur untuk beton normal hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 4,78 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi dengan nilai sebesar 5,2 Mpa.

e. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3%

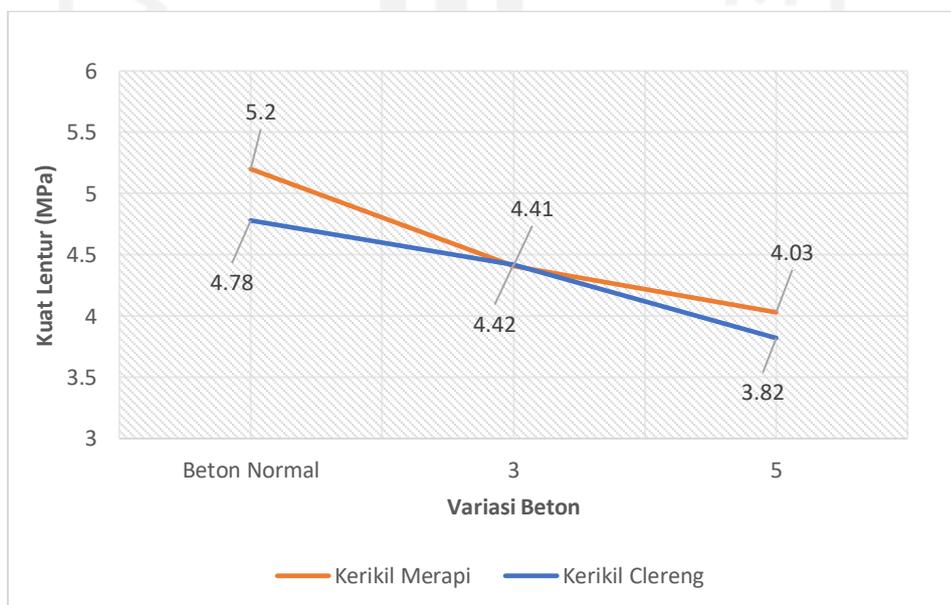
Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat lentur untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 3% hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi

dengan nilai sebesar 4,41 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 4,42 Mpa.

- f. Beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5%

Berdasarkan hasil rata-rata uji kuat lentur untuk beton dengan bahan tambah cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebesar 5% hasil terendah didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Clereng dengan nilai sebesar 3,02 MPa dan hasil tertinggi didapat pada benda uji yang menggunakan kerikil dari Merapi dengan nilai sebesar 4,03 Mpa.

Hasil dari pengujian nilai rata-rata kuat lentur tertinggi didapatkan nilai sebesar 5,2 MPa dari variasi beton normal dengan Pasir Progo dan Kerikil Merapi dan untuk nilai rata-rata lentur terendah didapatkan nilai sebesar 3,82 MPa dari variasi beton menggunakan cacahan botol plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebagai bahan tambah sebesar 5% dengan Pasir Progo dan Kerikil Clereng. Agar mempermudah membandingkan hasil dari pengujian kuat lentur dapat pada Gambar grafik hasil rata-rata dari pengujian kuat lentur di Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik Kuat Tekan Beton Beton Pasir Progo Dengan Kerikil Dari Merapi Dan Clereng

Dari hasil pengujian kuat lentur yang dilakukan tersebut, penggunaan cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah semen mengurangi kelekatan dan kekuatan beton yang dihasilkan. Penyebab dari penurunan pada sampel beton karena sifat cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang tidak akan bereaksi dengan sifat kimia yang dimiliki oleh semen. Adapun penyebab lainnya dikarenakan cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki permukaan bidang yang licin sehingga apabila bahan tambah tersebut ditambahkan terhadap beton mengakibatkan antara agregat satu dengan yang lain tidak bisa merekat dengan kuat atau sempurna.

5.9 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Dalam pengujian ini bertujuan untuk menetapkan hubungan kuat tekan dan lentur beton serta untuk mencari nilai koefisien korelasi. Untuk mencari hubungan kuat tekan dan lentur beton dapat menggunakan persamaan berikut ini.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat lentur } (\sigma_1) &= 5,04 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat tekan } (f'c) &= 47,22 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat lentur } (\sigma_1) &= K \sqrt{f'c} & (3.6) \\
 \text{Koefisien korelasi } (K) &= \frac{\sigma_1}{\sqrt{f'c}} \\
 &= \frac{5,04}{\sqrt{47,22}} \\
 &= 0,7337 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama hasil hubungan kuat tekan dan lentur beton dengan kerikil Merapi dan kerikil Clereng dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Tabel 5.27.

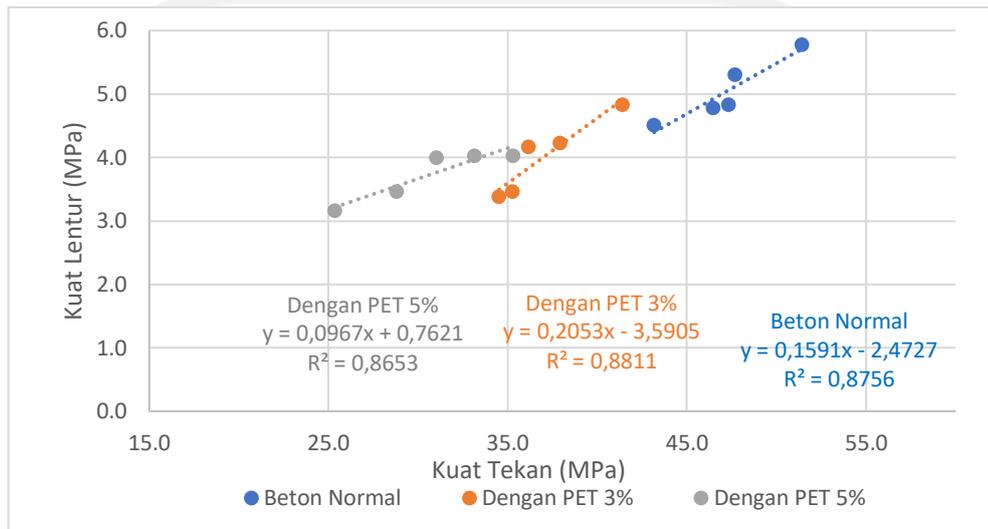
Tabel 5.26 Nilai Hubungan Kuat Tekan Dan Lentur Beton Kerikil Merapi

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Korelasi Rata-rata
PM1	46,47	4,51	47,22	5,04	0,73
PM2	47,69	5,31			
PM3	43,17	4,84			
PM4	51,44	5,78			
PM5	47,34	4,78			
PM1 0%	34,52	4,17	37,05	4,02	0,66
PM2 0%	37,92	3,38			
PM3 0%	35,27	3,46			
PM4 0%	41,40	4,23			
PM5 0%	36,15	4,83			
PM1 5%	31,05	4,03	30,74	3,74	0,68
PM2 5%	25,35	3,99			
PM3 5%	28,81	4,07			
PM4 5%	33,17	3,47			
PM5 5%	35,32	3,16			

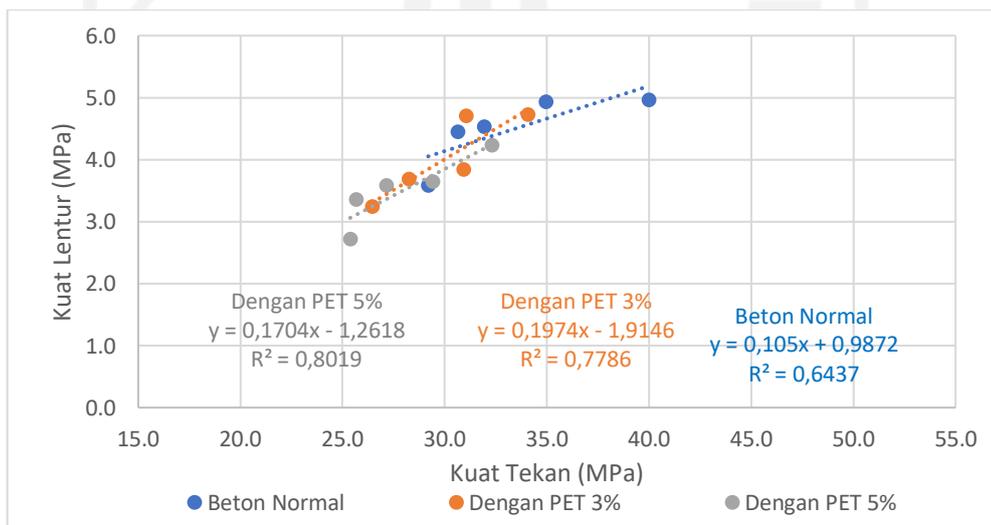
Tabel 5.27 Nilai Hubungan Kuat Tekan Dan Lentur Beton Kerikil Clereng

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Korelasi Rata-rata
PC1	31,94	4,96	33,34	4,49	0,78
PC2	30,63	4,44			
PC3	39,99	4,53			
PC4	34,95	3,58			
PC5	29,19	4,93			
PC1 0%	34,08	3,69	30,15	4,04	0,74
PC2 0%	28,25	4,72			
PC3 0%	31,04	3,84			
PC4 0%	30,93	3,24			
PC5 0%	26,45	4,70			
PC1 5%	27,14	4,23	27,97	3,50	0,66
PC2 5%	25,37	3,35			
PC3 5%	29,39	3,58			
PC4 5%	25,67	2,71			
PC5 5%	32,29	3,64			

Dari hasil Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 hubungan antara kuat tekan dan lentur beton untuk beton normal dan beton dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki hubungan yang kuat. Adapun grafik yang menggambarkan dari pendekatan kuat tekan dan lentur beton dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan 5.16.



Gambar 5.1 Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Untuk Beton Normal, dengan Bahan PET Tambah 3%, dan Bahan PET Tambah 5% Menggunakan Kerikil Merapi



Gambar 5.16 Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Untuk Beton Normal, dengan Bahan PET Tambah 3%, dan Bahan PET Tambah 5% Menggunakan Kerikil Clereng

Dari Gambar 5.15, dan 5.16 didapat persamaan hubungan dari kuat tekan dan lentur beton dengan analisis regresi linier sederhana sebagai berikut.

1. Beton normal dengan menggunakan kerikil Merapi memiliki persamaan $Y = 0,1591x - 2,4727$; $R^2 = 0,8756$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.
2. Beton dengan bahan tambah cacahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% yang menggunakan kerikil Merapi memiliki persamaan $Y = 0,2053x - 3,5905$; $R^2 = 0,8811$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.
3. Beton dengan bahan tambah cacahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 5% yang menggunakan kerikil Merapi memiliki persamaan $Y = 0,0967x + 0,7621$; $R^2 = 0,8653$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.
4. Beton normal dengan menggunakan kerikil Clereng memiliki persamaan $Y = 0,105x + 0,9872$; $R^2 = 0,6437$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.
5. Beton dengan bahan tambah cacahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 3% yang menggunakan kerikil Clereng memiliki persamaan $Y = 0,1974x - 1,9146$; $R^2 = 0,7786$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.
6. Beton dengan bahan tambah cacahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebesar 5% yang menggunakan kerikil Clereng memiliki persamaan $Y = 0,1704x - 1,2618$; $R^2 = 0,8019$ yang menandakan semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya.

Dari hasil persamaan yang ada pada grafik dapat ditetapkan bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi nilai kuat lenturnya, itu bisa terjadi dikarenakan jika kuat tekan meningkat maka hasil pembebanan pada saat lentur (P) akan semakin besar yang akan mengakibatkan nilai kuat lentur semakin meningkat karena nilai P berbanding lurus dengan nilai kuat lentur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis perhitungan yang sudah dilakukan pada penelitian yang berjudul pengaruh penambahan cacahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada beton yang menggunakan agregat kasar dari Merapi dan Clereng terhadap kuat tekan, modulus elastis dan kuat lentur, cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah mengalami penurunan. Penyebab dari penurunan dikarenakan cacahan botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki permukaan bidang yang licin sehingga apabila bahan tambah tersebut ditambahkan terhadap beton mengakibatkan antara agregat satu dengan yang lain tidak bisa merekat dengan kuat atau sempurna. Hasil dari pengujian kuat tekan maupun kuat tarik untuk beton dengan agregat kasar dari kerikil Merapi memiliki hasil yang lebih baik dibanding dengan kerikil Clereng, yang disebabkan variasi agregat dari Clereng yang seragam dan memiliki bentuk yang pipih atau memanjang sehingga mengakibatkan beton tersebut akan memiliki rongga dikarenakan tidak adanya agregat berukuran kecil yang mengisi rongga-rongga pada beton tersebut. Untuk hasil dari penelitian yang sudah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pengujian dengan menggunakan kerikil dari Merapi.
 - a. Pengujian kuat tekan nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton normal 47,22 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3% sebesar 37,05 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 30,74 MPa.
 - b. Pengujian kuat lentur nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton normal 5,2 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3% sebesar 4,41 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 4,03 MPa.
 - c. Pengujian modulus elastis nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton 33736 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3%

sebesar 30284 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 15984 MPa

2. Pengujian dengan menggunakan kerikil dari Clereng.
 - a. Pengujian kuat tekan nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton normal 33,34 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3% sebesar 30,15 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 27,9 MPa.
 - b. Pengujian kuat lentur nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton normal 4,78 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3% sebesar 4,42 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 3,82 MPa.
 - c. Pengujian modulus elastis nilai rata-rata yang didapat pada kondisi beton 29167 MPa, dengan bahan tambah PET (*Polyethylene Terephthalate*) 3% sebesar 33375 MPa, dan dengan bahan tambah 5% sebesar 27297 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang sudah didapatkan, maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut.

1. Cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki sifat yang tidak bisa dipengaruhi bahan kimia lain untuk penelitian selanjutnya lebih baik menambahkan bahan tambah yang dapat dipengaruhi atau berpengaruh terhadap bahan kimia dengan bahan kimia agar dapat meningkatkan mutu beton.
2. Pada penelitiannya selanjutnya lebih baik untuk mencoba limbah botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang tidak berbentuk cacahan, bisa diganti dengan limbah plastik yang sudah diubah menjadi biji terlebih dahulu ataupun yang sejenisnya.
3. Penggunaan bahan cacahan botol plastik bekas PET (*Polyethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah sudah terbukti tidak lebih baik jika dibandingkan dengan beton normal. Pada penelitiannya selanjutnya mencoba penggunaan bahan tambah yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM-C33, 2003, *Standard Specification for Concrete Aggregates*, Annual Books of ASTM standards, USA.
- ASTM-C150, 2004, *Standards Specification For Portland Cement*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2008, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, (SNI 1970-2008), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 1997, *Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan*, (SNI 03- 4431-2011), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2011, *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*, (SNI-1974-2011), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 1996, *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Uji Sederhana yang Dibebeani Terpusat Langsung*, (SNI 03-4154-1996), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2013, *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, (SNI 2847-2013), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2017, *Rancangan Tebal Jalan Beton Untuk Lalu-Lintas Rendah*, (SNI 8457-2017), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2004, *Semen Portland*, (SNI 15-2049-2004), Jakarta
- Badan Standard Nasional Indonesia, 2000, *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*, (SNI 03-2834-2000), Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, PUBI-1982, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

- Hayu Gati Annisa, 2016, *Pengaruh Campuran Polyethylene Terephthalate Terhadap Kuat Tekan Beton Mampat Sendiri.*
- Ir. Suprpto Tm, M. Sc, 2000, *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*, KMTS FT UGM
- Jambeck R, Jenna., 2015, *Plastic Waste Inputs From Land Into The Ocean*, University of Georgia.
- M. Fadil Natoras Nasution, dkk., 2018, *Pengaruh Penambahan PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laborium*
- Paul dan Antoni, 2007, *Teknologi Beton*. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta
- Rocky Armidion dan Tanjung Rahayu, 2018, *Peningkatan Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Campuran Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)*
- Sibuea, A.F dan Tarigan, J., 2013, *Pemanfaatan Limbah Botol Plastik sebagai Bahan Eco Plafie (Economic Plastic Fiber) Paving Block yang Berkonsep Ramah Lingkungan dengan Uji Tekan, Uji Kejut dan Serapan Air*, Universitas Sumatera Utara
- Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3, 2010. *Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.*
- Tjo, A. H., 2016, *Pemanfaatan Kapur Dan Bata Merah Sebagai Bahan Substitusi Semen Dalam Campuran Beton*. Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta



LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Pasir Progo
Sumber : Kulon Progo, Yogyakarta
Tanggal Uji : 26 April 2021

BERAT JENIS AGREGAT HALUS			
No.	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat kering mutlak (Bk)	491	gram
2	Berat pasir kondisi SSD	500	gram
3	Berat piknometer berisi pasir, dan air (Bt)	1034	gram
4	Berat piknometer berisi air (B)	714	gram
5	Berat jenis curah	2,72778	gram
6	Berat jenis jenuh kering muka	2,77778	gram
7	Berat jenis semu	2,87135	gram
8	Penyerapan air	0,01833	%

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Merapi

HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR MERAPI

Material : Kerikil Merapi
Sumber : Merapi, Yogyakarta
Tanggal Uji : 26 April 2021

BERAT JENIS AGREGAT KASAR MERAPI			
No.	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat kering mutlak (Bk)	4843	gram
2	Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
3	Berat kerikil dalam air (Ba)	3040	gram
4	Berat jenis curah	2,47092	gram
5	Berat jenis jenuh kering muka	2,55102	gram
6	Berat jenis semu	2,68608	gram
7	Penyerapan air	0,03242	%

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Clereng

HASIL PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR CLERENG

Material : Kerikil Clereng
Sumber : Kali Progo, Yogyakarta
Tanggal Uji : 27 April 2021

BERAT JENIS AGREGAT KASAR CLERENG			
No.	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat kering mutlak (Bk)	4915	gram
2	Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
3	Berat kerikil dalam air (Ba)	3091	gram
4	Berat jenis curah	2,57465	gram
5	Berat jenis jenuh kering muka	2,61917	gram
6	Berat jenis semu	2,69463	gram
7	Penyerapan air	0,01729	%

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 4. Hasil Pengujian Saringan Agregat Halus

HASIL PENGUJIAN SARINGAN AGREGAT HALUS

Material : Pasir Progo
Sumber : Kulon Progo, Jawa Tengah
Tanggal Uji : 27 April 2021

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
10,00		0,00	0,00	100,00
4,80	2,00	0,10	0,10	99,90
2,40	81,00	4,05	4,15	95,85
1,20	143,00	7,15	11,30	88,70
0,60	489,00	24,45	35,75	64,25
0,30	841,00	42,05	77,80	22,20
0,17	353,00	17,65	95,45	4,55
Sisa	91,00	4,55	---	---
Jumlah	2000,00	100,00	224,55	

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 5. Tabel Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Loloa Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 6. Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar Merapi

HASIL PENGUJIAN SARINGAN AGREGAT KASAR MERAPI

Material : Kerikil Merapi
Sumber : Merapi, Yogyakarta
Tanggal Uji : 27 April 2021

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
40,00	0,00	0,00	0,00	100,0
20,00	4,0	0,06	0,06	99,94
10,00	4482,0	66,61	66,67	33,33
4,80	1387,0	20,61	87,28	12,72
2,40	120,0	1,78	89,06	10,94
1,20	61,0	0,91	89,97	10,03
0,60	0,00	0,00	89,97	10,03
0,30	0,00	0,00	89,97	10,03
0,15	0,00	0,00	89,97	10,03
Sisa	675,0	0,00	---	---
Jumlah	6729,00	89,97	602,94	

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 7. Hasil Pengujian Saringan Agregat Kasar Clereng

HASIL PENGUJIAN SARINGAN AGREGAT KASAR CLERENG

Material : Kerikil Clereng
Sumber : Kali Progo, Yogyakarta
Tanggal Uji : 27 April 2021

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
40,00	0,00	0,00	0,00	100,00
20,00	188,0	3,76	3,76	96,24
10,00	4481,0	89,62	93,38	6,62
4,80	285,00	5,70	99,08	0,92
2,40	8,00	0,16	99,24	0,76
1,20	1,00	0,02	99,26	0,74
0,60	0,00	0,00	99,26	0,74
0,30	0,00	0,00	99,26	0,74
0,15	0,00	0,00	99,26	0,74
Sisa	37,00	0,00	---	---
Jumlah	5000,00	99,26	692,50	

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 8. Tabel Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Loloa Ayakan	
	40 mm	20 mm
40,00	95-100	100
20,00	30-70	95-100
10,00	10-35	25-55
4,80	0-5	0-10

Mengetahui,
Ka. Lab. Tekonologi Bahan Konstruksi



(Novi Rahmayanti, S.T., M. Eng.)

Peneliti,



(Muhammad Rifki .D)
15511136

Lampiran 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasir Progo Dan Kerikil Merapi

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN PASIR PROGO DAN KERIKIL MERAPI

Material : Pasir Progo, Kerikil Merapi

Tanggal Uji : 16 Juni 2021

NO	PROGO MERAPI	DIAMETER (mm)	TINGGI (mm)	BERAT (kg)	HASIL PENGUJIAN (kN)	Volume Beton (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)	A, Luas Tampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	PM 1 0%	151,7	299,5	12,267	840	0,0054132	2266,11	18074,28	46,47
2	PM 2 0%	150,2	300	12,455	845	0,0053156	2343,11	17718,61	47,69
3	PM 3 0%	150,7	299,7	12,387	770	0,0053457	2317,20	17836,78	43,17
4	PM 4 0%	150,9	300,5	12,331	920	0,0053742	2294,49	17884,15	51,44
5	PM 5 0%	151,2	299,8	12,351	850	0,0053830	2294,44	17955,33	47,34
6	PM 1 3%	150	301,8	12,242	610	0,0053332	2295,41	17671,46	34,52
7	PM 2 3%	151,1	300,3	12,263	680	0,0053849	2277,31	17931,59	37,92
8	PM 3 3%	150,2	298,6	12,177	625	0,0052908	2301,55	17718,61	35,27
9	PM 4 3%	148,8	298,8	11,986	720	0,0051961	2306,74	17389,85	41,40
10	PM 5 3%	151,3	300	12,265	650	0,0053937	2273,94	17979,09	36,15
11	PM 1 5%	149,5	298,6	12,129	545	0,0052416	2314,00	17553,85	31,05
12	PM 2 5%	152	301,3	12,286	460	0,0054673	2247,16	18145,84	25,35
13	PM 3 5%	149,4	299,2	12,110	505	0,0052451	2308,83	17530,37	28,81
14	PM 4 5%	150,5	302,8	12,138	590	0,0053866	2253,35	17789,46	33,17
15	PM 5 5%	150,7	299,7	12,225	630	0,0053457	2286,89	17836,78	35,32

Lampiran 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Pasir Progo Dan Kerikil Clereng

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN PASIR PROGO DAN KERIKIL CLERENG

Material : Pasir Progo, Kerikil Clereng

Tanggal Uji : 16 Juni 2021

NO	PROGO CLERENG	DIAMETER (mm)	TINGGI (mm)	BERAT (kg)	HASIL PENGUJIAN (kN)	Volume Beton (m3)	Berat Volume Beton (kg/m3)	Luas Tampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	PC 1 0%	151,4	302,3	12,799	575	0,0054423	2351,78	18002,87	31,94
2	PC 2 0%	151,2	300,5	12,698	550	0,0053956	2353,41	17955,33	30,63
3	PC 3 0%	151,4	300,3	12,744	720	0,0054063	2357,27	18002,87	39,99
4	PC 4 0%	151,5	300,7	12,752	630	0,0054206	2352,50	18026,65	34,95
5	PC 5 0%	150,6	302,2	12,706	520	0,0053831	2360,34	17813,11	29,19
6	PC 1 3%	152,2	303,8	12,706	620	0,0055272	2298,80	18193,62	34,08
7	PC 2 3%	153,1	300,6	12,605	520	0,0055339	2277,79	18409,43	28,25
8	PC 3 3%	150,2	301,3	12,364	550	0,0053386	2315,96	17718,61	31,04
9	PC 4 3%	152,5	297,2	12,395	565	0,0054285	2283,33	18265,42	30,93
10	PC 5 3%	151,2	301,6	12,605	475	0,0054153	2327,65	17955,33	26,45
11	PC 1 5%	152,4	304,3	13,061	495	0,0055509	2352,96	18241,47	27,14
12	PC 2 5%	151,1	303,3	12,803	455	0,0054387	2354,08	17931,59	25,37
13	PC 3 5%	150,8	300,5	12,663	525	0,0053671	2359,39	17860,46	29,39
14	PC 4 5%	149,4	301,4	12,514	450	0,0052837	2368,44	17530,37	25,67
15	PC 5 5%	148,6	299,4	12,468	560	0,0051925	2401,14	17343,13	32,29

Lampiran 11. Hasil Pengujian Kuat Lentur Pasir Progo Dan Kerikil Merapi

HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR PASIR PROGO DAN KERIKIL MERAPI

Material : Pasir Progo, Kerikil Merapi

Tanggal Uji : 16 Juni 2021

PROGO MERAPI	PANJANG (mm)	TINGGI (mm)	LEBAR (mm)	BERAT (kg)	HASIL PENGUJIAN (kgf)	HASIL PENGUJIAN (N)	Volume Beton (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)	L	Kuat Lentur (MPa)
PM 1 0%	400	102	101	9,562	1610	15794,1	0,0041208	2320,42	300,00	4,51
PM 2 0%	400	100	102	9,722	1840	18050,4	0,0040800	2382,84	300,00	5,31
PM 3 0%	399	101	99	9,457	1665	16333,65	0,0039896	2370,41	299,00	4,84
PM 4 0%	405	103	101	9,980	2070	20306,7	0,0042132	2368,74	305,00	5,78
PM 5 0%	403	99	100	9,590	1575	15450,75	0,0039897	2403,69	303,00	4,78
PM 1 3%	401	102	100	9,457	1470	14420,7	0,0040902	2312,11	301,00	4,17
PM 2 3%	402	101	100	9,810	1165	11428,65	0,0040602	2416,14	302,00	3,38
PM 3 3%	404	101	100	9,358	1185	11624,85	0,0040804	2293,40	304,00	3,46
PM 4 3%	400	100	96	9,051	1380	13537,8	0,0038400	2357,03	300,00	4,23
PM 5 3%	400	100	99	9,278	1625	15941,25	0,0039600	2342,93	300,00	4,83
PM 1 5%	402	101	98	9,315	1360	13341,6	0,0039790	2341,04	302,00	4,03
PM 2 5%	403	99	98	9,202	1290	12654,9	0,0039099	2353,51	303,00	3,99
PM 3 5%	402	100	100	9,251	1375	13488,75	0,0040200	2301,24	302,00	4,07
PM 4 5%	402	100	100	9,063	1170	11477,7	0,0040200	2254,48	302,00	3,47
PM 5 5%	401	101	99	9,236	1080	10594,8	0,0040096	2303,47	301,00	3,16

Lampiran 12. Hasil Pengujian Kuat Lentur Pasir Progo Dan Kerikil Clereng

HASIL PENGUJIAN KUAT LENTUR PASIR PROGO DAN KERIKIL CLERENG

Material : Pasir Progo, Kerikil Clereng

Tanggal Uji : 16 Juni 2021

PROGO CLERENG	PANJANG (mm)	TINGGI (mm)	LEBAR (mm)	BERAT (kg)	HASIL PENGUJIAN (kgf)	HASIL PENGUJIAN (N)	Volume Beton (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)	L	Kuat Lentur (MPa)
PC 1 0%	404	100	98	9,174	1630	15990,3	0,0039592	2317,13	304,00	4,96
PC 2 0%	401	100	100	9,238	1505	14764,05	0,0040100	2303,74	301,00	4,44
PC 3 0%	404	102	100	9,319	1580	15499,8	0,0041208	2261,45	304,00	4,53
PC 4 0%	400	100	100	9,078	1215	11919,15	0,0040000	2269,50	300,00	3,58
PC 5 0%	402	102	99	9,327	1715	16824,15	0,0040594	2297,63	302,00	4,93
PC 1 3%	403	101	100	9,083	1265	12409,65	0,0040703	2231,53	303,00	3,69
PC 2 3%	404	102	99	9,465	1630	15990,3	0,0040796	2320,08	304,00	4,72
PC 3 3%	399	104	99	9,315	1400	13734	0,0041081	2267,47	299,00	3,84
PC 4 3%	404	103	102	9,529	1175	11526,75	0,0042444	2245,06	304,00	3,24
PC 5 3%	400	99	100	9,248	1565	15352,65	0,0039600	2335,35	300,00	4,70
PC 1 5%	405	100	100	9,215	1415	13881,15	0,0040500	2275,31	305,00	4,23
PC 2 5%	400	103	101	9,294	1220	11968,2	0,0041612	2233,49	300,00	3,35
PC 3 5%	401	99	98	8,961	1165	11428,65	0,0038905	2303,30	301,00	3,58
PC 4 5%	404	100	99	9,025	900	8829	0,0039996	2256,48	304,00	2,71
PC 5 5%	400	102	95	8,737	1222,5	11992,725	0,0038760	2254,13	300,00	3,64

Lampiran 13. Hasil Pengujian Modulus Elastis

HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTIS

Material : Progo, Kerikil Merapi, Kerikil Clereng

Tanggal Uji : 27 April 2021

Nama Benda Uji	Kuat Tekan 40% (MPa)	Kuat Tekan di regangan 0.00005 (Mpa)	Regangan	Modulus Elastis (Mpa)	Modulus Elastis Rata-rata (Mpa)
PM1 0%	18,58995055	0,000632129	0,000315881	24437,70171	25337,80493
PM2 0%	19,07598418	-0,424952461	0,000239257	33736,15472	
PM3 0%	17,26769347	-0,963030251	0,000382337	19641,75587	
PM4 0%	20,57687682	-0,529686398	0,000336145	25975,1803	
PM5 0%	18,93587828	0,517852887	0,000329709	22898,23207	
PM1 3%	13,80757551	0,126541184	0,000188699	30283,94955	23576,70301
PM2 3%	15,16876049	-2,186280352	0,00025027	29182,72016	
PM3 3%	14,10945575	0,95878502	0,000367189	14479,31599	
PM4 3%	16,56138846	-0,386532109	0,000404596	17204,90686	
PM5 3%	14,46124256	-1,018531366	0,000236566	26732,62248	
PM1 5%	12,41893137	0,33788379	0,000371419	13868,46462	14815,57344
PM2 5%	10,14006563	-0,211466777	0,000307944	14669,28433	
PM3 5%	11,52286021	0,041359655	0,000296253	15416,21966	
PM4 5%	13,26627885	-0,685115456	0,000406474	14140,21118	
PM5 5%	14,12811284	-0,167546285	0,000357267	15983,68739	
PC1 0%	12,7757441	-0,529043795	0,000200361	27008,41259	27508,00252
PC2 0%	12,25262712	-0,380172745	0,000183085	28023,62969	
PC3 0%	15,99745348	-0,038815298	0,00022662	29167,09916	
PC4 0%	13,97929899	0,253647341	0,000214608	26908,09726	
PC5 0%	11,67679108	-1,079423023	0,000197652	26432,77389	
PC1 3%	13,63114993	-0,248713343	0,000221511	25727,39513	26825,47474
PC2 3%	11,29855937	-0,423186833	0,000144142	33374,84144	
PC3 3%	12,41632106	-0,518647976	0,000215571	24338,90053	
PC4 3%	12,3731099	-0,424643313	0,000157886	26237,12649	
PC5 3%	10,58181433	0,777597401	0,000199224	24449,11012	
PC1 5%	10,85438883	-0,391381504	0,000206773	22176,97242	24892,39153
PC2 5%	10,14968533	0,101628957	0,000166364	25406,24932	
PC3 5%	11,75781792	-0,536837221	0,000215614	24184,65406	
PC4 5%	10,26789523	-0,424152204	0,000157836	27296,74908	
PC5 5%	12,91577641	0,785440335	0,000198887	25397,33275	

Lampiran 14. Hasil Pengujian Modulus Elastis Berdasarkan Rumus Empiris

**HASIL PENGUJIAN MODULUS ELASTIS BERDASARKAN RUMUS
EMPIRIS**

Material : Progo, Kerikil Merapi, Kerikil Clereng

Tanggal Uji : 27 April 2021

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastis (Mpa)	Modulus Elastis Rata-rata (Mpa)
PM 1 0%	46,4748764	32041,06769	32285,31158
PM 2 0%	47,6899604	32457,22148	
PM 3 0%	43,1692337	30880,55005	
PM 4 0%	51,4421921	33709,90985	
PM 5 0%	47,3396957	32337,8088	
PM 1 3%	34,5189388	27613,82548	28594,62879
PM 2 3%	37,9219012	28942,95766	
PM 3 3%	35,2736394	27914,05907	
PM 4 3%	41,4034711	30242,39868	
PM 5 3%	36,1531064	28259,90305	
PM 1 5%	31,0473284	26188,46091	26015,61907
PM 2 5%	25,3501641	23664,00482	
PM 3 5%	28,8071505	25225,97778	
PM 4 5%	33,1656971	27067,14336	
PM 5 5%	35,3202821	27932,5085	
PC 1 0%	31,9393603	26562,01175	27095,30026
PC 2 0%	30,6315678	26012,52262	
PC 3 0%	39,9936337	29723,04441	
PC 4 0%	34,9482475	27785,01011	
PC 5 0%	29,1919777	25393,91241	
PC 1 3%	34,0778748	27436,8412	25783,17409
PC 2 3%	28,2463984	24979,25022	
PC 3 3%	31,0408027	26185,70852	
PC 4 3%	30,9327747	26140,10318	
PC 5 3%	26,4545358	24173,96733	
PC 1 5%	27,1359721	24483,33358	24832,06169
PC 2 5%	25,3742133	23675,22697	
PC 3 5%	29,3945448	25481,86599	
PC 4 5%	25,6697381	23812,69649	
PC 5 5%	32,289441	26707,1854	

Lampiran 15. Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Beton Kerikil Merapi

**HASIL HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON KERIKIL
MERAPI**

Material : Progo, Kerikil Merapi

Tanggal Uji : 27 April 2021

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Korelasi Rata-rata
PM1	46,4749	4,5091	47,2232	5,0422	0,7337
PM2	47,6900	5,3089			
PM3	43,1692	4,8359			
PM4	51,4422	5,7802			
PM5	47,3397	4,7766			
PM1 0%	34,5189	4,1721	37,0542	4,0162	0,6598
PM2 0%	37,9219	3,3834			
PM3 0%	35,2736	3,4643			
PM4 0%	41,4035	4,2306			
PM5 0%	36,1531	4,8307			
PM1 5%	31,0473	4,0304	30,7381	3,7440	0,6753
PM2 5%	25,3502	3,9921			
PM3 5%	28,8072	4,0736			
PM4 5%	33,1657	3,4663			
PM5 5%	35,3203	3,1578			

Lampiran 16. Hasil Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Beton Kerikil Clereng

**HASIL HUBUNGAN KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON KERIKIL
CLERENG**

Material : Progo, Kerikil Clereng

Tanggal Uji : 27 April 2021

Nama Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Korelasi Rata-rata
PC1	31,9394	4,9603	33,3410	4,4884	0,7773
PC2	30,6316	4,4440			
PC3	39,9936	4,5290			
PC4	34,9482	3,5757			
PC5	29,1920	4,9329			
PC1 0%	34,0779	3,6860	30,1505	4,0356	0,7350
PC2 0%	28,2464	4,7195			
PC3 0%	31,0408	3,8350			
PC4 0%	30,9328	3,2382			
PC5 0%	26,4545	4,6993			
PC1 5%	27,1360	4,2338	27,9728	3,5035	0,6624
PC2 5%	25,3742	3,3508			
PC3 5%	29,3945	3,5815			
PC4 5%	25,6697	2,7111			
PC5 5%	32,2894	3,6401			

Lampiran 17. Gambar Alat dan Bahan



TIMBANGAN DIGITAL



PALU KARET



WADAH BESI



CETOK



EMBER PLASTIK



GELAS UKUR



SEKOP



CETAKAN BALOK



TIMBANGAN DALAM AIR



CETAKAN KAPING



PIKNOMETER



CETAKAN BETON SILINDER



EXTENSOMETER



MESIN OVEN



PIKNOMETER



CAWAN



MESIN COR (MOLEN)



KUAS



KERUCUT ABRAMS



SARINGAN AGREGAT HALUS



PENGGARIS



JANGKA SORONG



**ANALISIS SARINGAN
AGREGAT HALUS**



**ANALISIS SARINGAN
AGREGAT KASAR**



**MESIN AYAK AGREGAT
HALUS**



**MESIN AYAK AGREGAT
KASAR**



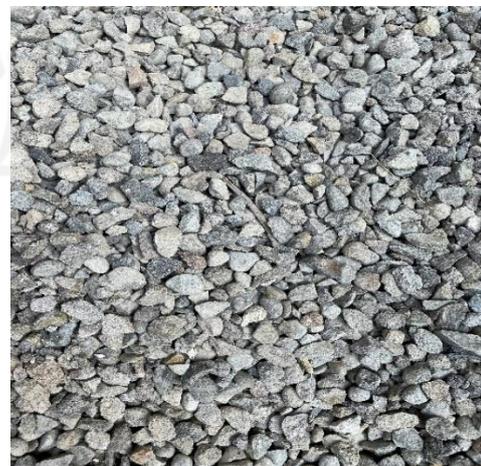
MESIN UJI KUAT TEKAN



MESIN UJI KUAT LENTUR



CACAHAN BOTOL PLASTIK



KERIKIL MERAPI



KERIKIL CLERENG



BELERANG



PASIR PROGO



SEMEN DYNAMIX



UJI SLUMP



UJI BERAT VOLUME



UJI KUAT LENTUR



UJI MODULUS ELASTIS

