

**PEMANFAATAN LIMBAH BOTOL AIR KEMASAN ATAU
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) UNTUK MENINGKATKAN
DAYA TAHAN PERKERASAN KAKU TERHADAP TEGANGAN
LENTUR**

(Skripsi)

Oleh:

**MUHAMMAD DZAKY ABIYYU
1715011043**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH BOTOL AIR KEMASAN ATAU *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) UNTUK MENINGKATKAN DAYA TAHAN PERKERASAN KAKU TERHADAP TEGANGAN LENTUR

Oleh

MUHAMMAD DZAKY ABIYYU

Botol air kemasan atau *polyethylene terephthalate* merupakan salah satu jenis plastik yang dapat didaur ulang. Penggunaannya sebagai bahan tambah campuran beton merupakan salah satu upaya untuk mengurangi limbah yang ada. Pada konstruksi jalan, material beton digunakan sebagai perkerasan kaku. Beton memiliki keunggulan pada kuat tekan, namun lemah terhadap kuat tarik. Untuk meminimalisasi kelemahan tersebut, dilakukan inovasi dengan menggunakan bahan tambah dari serat *polyethylene terephthalate*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur beton dengan penambahan serat *polyethylene terephthalate*.

Penambahan serat *polyethylene terephthalate* menggunakan volume fraksi 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, dan 0,8% terhadap volume adukan beton tersebut. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 60 cm dan berbentuk balok berukuran 15 x 15 x 60 cm. Pengujian dilakukan saat umur beton mencapai 28 hari.

Hasil penelitian yang didapatkan adalah penambahan serat *polyethylene terephthalate* dengan volume fraksi 0,8% merupakan kekuatan optimum dibandingkan dengan volume fraksi lainnya pada pengujian kuat tarik lentur. Penambahan volume fraksi serat *polyethylene terephthalate* sebesar 0,8% dapat meningkatkan nilai kuat tarik lentur pada campuran beton sebesar 48,57 % dibandingkan dengan beton normal. Penambahan volume fraksi serat *polyethylene terephthalate* sebesar 0,2% dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada campuran beton sebesar 3,87 % dan kuat tarik lentur sebesar 8,57% dibandingkan dengan beton normal, namun penambahan serat *polyethylene terephthalate* sebesar 0,2% pada campuran beton meningkatkan kesulitan pencampuran sebesar 5%.

Kata kunci: beton, kuat tarik lentur, kuat tekan, perkerasan kaku, serat *polyethylene terephthalate*

ABSTRACT

UTILIZATION OF WASTE WATER BOTTLED OR POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) TO IMPROVE THE DURABILITY OF RIGID PAVEMENT TO FLEXURAL STRENGTH

By

MUHAMMAD DZAKY ABIYYU

Bottled water or polyethylene terephthalate is one type of plastics that can be recycled. Its use as an added material for concrete mixtures is one of the efforts to reduce existing waste. In the construction of the pavement, concrete material is used as a rigid pavement. Concrete has advantages in compressive strength. To minimize this weakness, innovation is carried out by using added materials from polyethylene terephthalate fiber. The purpose of this research is to determine the value of compressive strength and flexural tensile strength of concrete with the addition of polyethylene terephthalate fiber.

The addition of polyethylene terephthalate fiber used the volume fraction of 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, and 0,8% to the volume of the concrete mixture. The samples in this research is in the form of cylinders with diameter of 15 cm and height of 60 cm and in the form of beams with dimensions of 15 x 15 x 60 cm. Testing was carried out when the concrete age reached 28 days.

The results of the research obtained are the addition of polyethylene terephthalate fiber with a volume fraction of 0,8% is the optimum strength compared to the other volume fraction in the flexural tensile strength test. The addition of polyethylene terephthalate fiber volume fraction of 0,8% can increase the flexural tensile strength value of the concrete mixture by 48,57% compared to normal concrete.. The addition of polyethylene terephthalate fiber fraction volume of 0,2% can increase the compressive strength value of the concrete mixture by 3,87% and flexural tensile strength by 8,57% compared to normal concrete, but the addition of 0,2% polyethylene terephthalate fiber by 0,2% to the concrete mixture increase the mixing difficulty by 5%.

Keywords: concrete, flexural tensile strength, compressive strength, rigid pavement, polyethylene terephthalate fiber.

**PEMANFAATAN LIMBAH BOTOL AIR KEMASAN ATAU
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) UNTUK MENINGKATKAN
DAYA TAHAN PERKERASAN KAKU TERHADAP TEGANGAN
LENTUR**

Oleh

MUHAMMAD DZAKY ABIYYU

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN LIMBAH BOTOL AIR KEMASAN ATAU POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) UNTUK MENINGKATKAN DAYA TAHAN PERKERASAN KAKU TERHADAP TEGANGAN LENTUR**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Deaky Abiyyu**

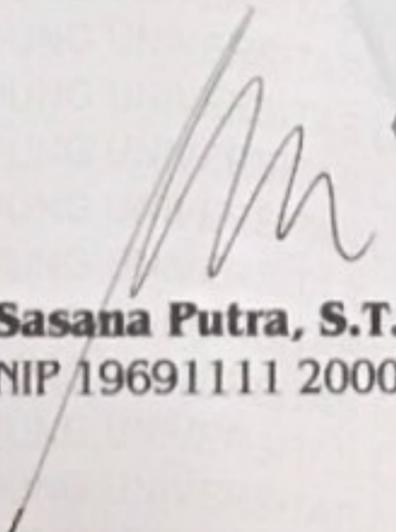
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011043

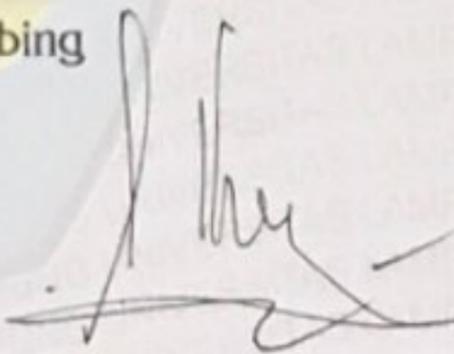
Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



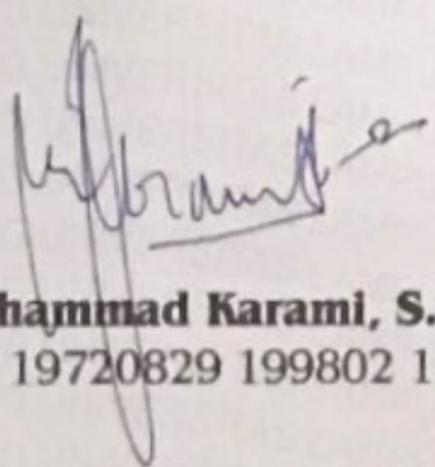
1. Komisi Pembimbing

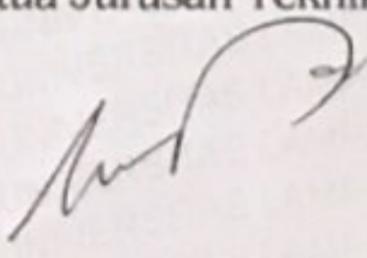

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002


Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U., M.T.
NIP 19580613 198403 2 003

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

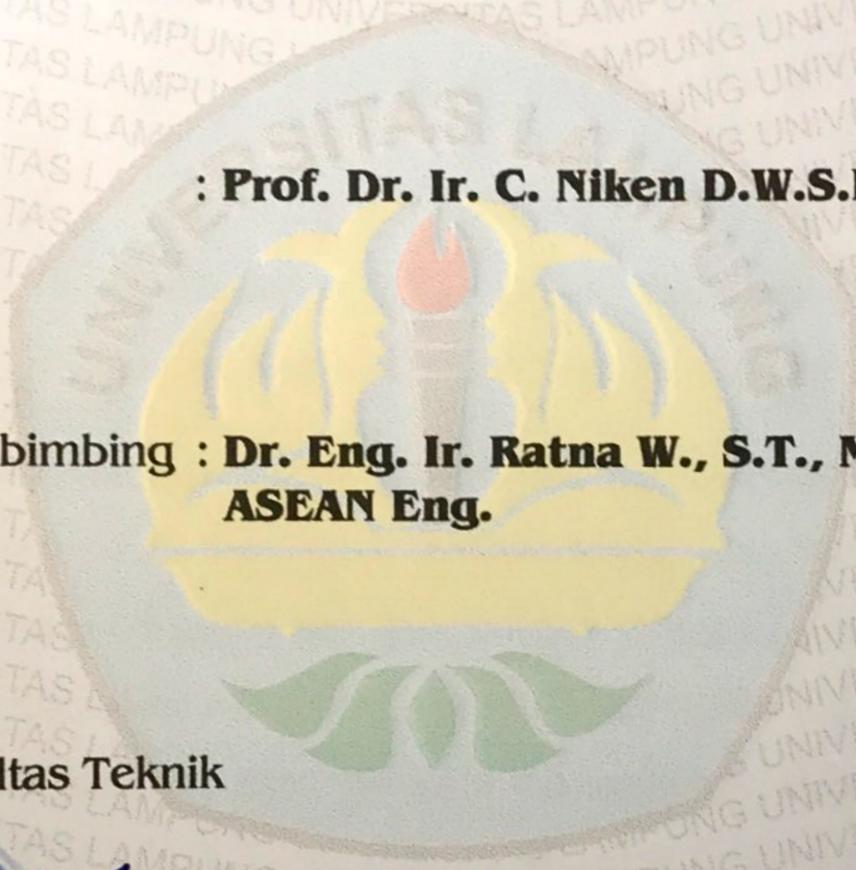
Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

Sekretaris : Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U., M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ratna W., S.T., M.T., IPM.,
ASEAN Eng.**

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002



[Handwritten signatures of Sasana Putra, Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U., and Dr. Eng. Ir. Ratna W.]

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Juli 2023

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Dzaky Abiyyu

NPM : 1715011043

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan Atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) Untuk Meningkatkan Daya Tahan Perkerasan Kaku Terhadap Tegangan Lentur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidak benaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, ²⁴ Agustus 2023



Muhammad Dzaky Abiyyu

1715011043

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Dzaky Abiyyu, dilahirkan di Bogor pada tanggal 20 Oktober 1999. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, putra dari Bapak Hardiansyah dan Ibu Pismasari. Penulis memiliki satu orang saudara yaitu Farid Putra Hafizh.

Jenjang pendidikan yang ditempuh oleh penulis dimulai dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Pertiwi diselesaikan pada tahun 2005, Sekolah Dasar di SD Negeri Citeureup 04 pada tahun 2005-2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Cibinong pada tahun 2011-2014, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Cibinong pada tahun 2014-2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Prodi S-1 Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN.

Pada tahun 2018 sampai 2020, penulis pernah menjadi anggota dari Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Departemen Keolahragaan dan Kerohanian pada periode 2018/2019 dan anggota Departemen Hubungan Luar pada periode 2019/2020. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Kencana, Kecamatan Tanah Sereal, Bogor selama 40 hari saat periode II (dua) pada tahun ajaran 2019/2020. Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Sarana dan Prasarana PT. Gudang Garam Tbk. Lampung selama 4 bulan.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah mengikuti lomba fotografi saat 6th dan 7th *Civil Brings Revolution* Universitas Lampung pada tahun 2020 dan 2023 serta saat Dies Natalis Universitas Lampung ke-56 pada tahun 2021. Penulis menjadi finalis lomba fotografi pada 6th *Civil Brings Revolution* Universitas Lampung tahun 2020

dan juara favorit pada Dies Natalis Universitas Lampung ke-56. Penulis pernah menjadi Asisten Dosen mata kuliah Mekanika Bahan untuk jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung periode tahun ajaran 2021/2022.

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2021, dengan judul skripsi Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan Atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) Untuk Meningkatkan Daya Tahan Perkerasan Kaku Terhadap Tegangan Lentur.

Persembahan

Alhamdulillah, Puji syukur saya panjatkan yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT., atas segala Rahmat, Anugerah serta Karunia-Nya yang telah memberikan kelancaran, kekuatan, dan kemudahan kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Ku persembahkan setulus hati kepada:

Papa dan Mama ku Tercinta

Terima kasih atas bimbingan, dukungan, dan kasih sayang yang tidak pernah putus untuk abi. Terima kasih untuk selalu memberikan kepercayaan atas apa yang abi lakukan selama di masa perkuliahan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Mohon maaf jika abi lulus melewati yang direncanakan dari sebelumnya. Ini hanyalah sebuah karya kecil yang tidak bisa dibandingkan dengan semua pengorbanan dan kerja keras Papa dan Mama selama ini. Semoga abi bisa sukses dan membanggakan Papa dan Mama di kemudian hari serta diberikan umur yang panjang Papa dan Mama agar bisa melihat abi sukses dan membanggakan, Aamiin.

Kakakku Tersayang

Terima kasih Kak Hafizh, yang selalu memberikan semangat dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini

Bapak dan Ibu Guru serta Bapak dan Ibu Dosen

Terima kasih atas ilmu yang telah Bapak dan Ibu berikan, semoga jasa Bapak dan Ibu dapat selalu membawa keberkahan dan pahala jariyah, Aamiin.

Angkatanku 2017 Tercinta yang Sangat Luar Biasa

Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan .”

(Q.S. Al Insyirah :5-6)

“It does not matter how slowly you go as long as you
do not stop.”

(Confucius)

“Barangsiapa belum merasakan pahitnya belajar walau sebentar, maka
akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya.”

(Imam Syafi'i)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kelancaran dan dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi penulis dengan judul **“Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk Meningkatkan Daya Tahan Perkerasan Kaku terhadap Tegangan Lentur”** merupakan sebagai satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing I. yang telah memberikan segala arahan, masukan, bimbingan dan dukungan serta ilmu pengetahuan kepada penulis selama penelitian ini.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. Chatarina Niken Dwi Wahyuni Setya Budi Utami, M.T. selaku dosen Pembimbing II. yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, arahan, kritik, bimbingan dan dukungan kepada penulis selama kerja praktik dan penelitian ini.

6. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T., IPM. ASEAN. Eng., selaku dosen Penguji, yang memberikan bimbingan, kritik dan saran yang membangun bagi penulis yang bermanfaat baik dalam proses penyusunan penelitian ini.
7. Ibu Prof Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc., selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu dosen Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung atas ilmu pengetahuan dalam bidang ketekniksipilan dan konstruksi yang telah diberikan selama perkuliahan, serta staff pegawai Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung dalam membantu administrasi dan kebutuhan selama perkuliahan.
9. Kedua orangtua penulis, Hardiansyah, S.E., M.M. dan Dra. Pismasari yang senantiasa selalu mendukung, memberikan doa, dan membimbing dalam perjalanan hidup penulis.
10. Kakak penulis, Farid Putra Hafizh, S.Tr. yang selalu memberikan semangat dan dukungan serta memberikan doa kepada penulis selama ini.
11. Tim Skripsi *Rigid*, Ilham Mangesti Aji, Theo Gideon Marpaung, Evanthe Calosa, yang senantiasa membantu dan mendukung selama masa penelitian dan penyelesaian penulisan skripsi ini.
12. Tim KP Gudang Garam Lampung, Mildariezka, S.R. dan Evanthe Calosa yang telah memberikan semangat dan dukungan dari awal KP hingga saat ini.
13. I Gusti Putu Indra dan Dwi Krisna selaku teman yang menemani sejak awal perkuliahan.
14. Indra, Dimas, Amran, Ilham, Theo, Ina, Ranta, dan Cahyo yang telah membantu selama proses pengerjaan di laboratorium.
15. Teknisi Laboratorium Bahan dan Kontruksi dan Laboratorium Jalan Raya Universitas Lampung yang telah membantu proses pengujian penelitian penulis.

16. Teman-Teman Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang telah berjuang bersama-sama, memberikan masukan, kritikan serta doa kepada penulis selama di perkuliahan.
17. Pihak-pihak yang membantu penulis dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar menjadi lebih baik. Penulis berharap agar skripsi ini bermanfaat bagi banyak orang dan menjadi ladang pahala bagi penulis di akhirat kelak.

Bandar Lampung, 2023
Penulis,

Muhammad Dzaky Abiyyu

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Beton	7
2.1.1 Pengertian Beton.....	7
2.1.2 Sifat-Sifat Beton	7
2.1.3 Bahan Penyusun Beton	10
2.1.4 Keleccakan Beton (<i>Slump</i>)	13
2.1.5 Berat Volume Beton	13
2.2 Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	14
2.2.1 Pengertian Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	14
2.2.2 Lapisan Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>).....	14
2.2.3 Jenis-Jenis Perkerasan Kaku	15
2.3 Plastik.....	17
2.3.1 Pengertian Plastik.....	17
2.3.2 Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>).....	18
2.3.3 Dampak Plastik Terhadap Lingkungan	18

2.3.4 Penanggulangan Plastik	19
2.4 Landasan Teori.....	19
2.4.1 Kuat Tekan Beton	19
2.4.2 Kuat Tarik Lentur Beton	20
2.4.3 Kuat Kejut Beton (<i>Impact</i>)	21
2.4.4 Beton Serat (<i>Fiber Reinforced Concrete</i>)	22
2.4.5 Uji Normalitas.....	24
2.4.6 Pemanfaatan Plastik dalam Campuran Beton	25
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Umum	26
3.2 Pengujian dan Benda Uji	26
3.3 Persiapan Material	27
3.4 Alat-Alat Penelitian	30
3.5 Prosedur Penelitian	38
3.6 Analisis Data.....	43
3.7 Diagram Alir Penelitian	44
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Umum	45
4.2 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material	45
4.3 Pelaksanaan Campuran Beton.....	46
4.4 Kelecekan (<i>Workability</i>)	47
4.5 Berat Volume Beton	48
4.6 Kuat Kejut atau <i>Impact</i> Beton.....	55
4.7 Kuat Tekan Beton	63
4.8 Kuat Tarik Lentur Beton.....	68
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1. Jumlah benda uji silinder	27
3.2. Jumlah benda uji balok	27
4.1. Hasil pengujian material campuran beton.....	46
4.2. Nilai <i>slump</i> beton	47
4.3. Berat volume beton kuat kejut atau <i>impact Dixon Criteria</i>	48
4.4. Berat volume beton kuat tekan <i>Dixon Criteria</i>	49
4.5. Berat volume beton kuat tarik lentur <i>Dixon Criteria</i>	50
4.6. Berat volume beton kuat kejut atau <i>impact</i> rata-rata	50
4.7. Berat volume beton kuat tekan rata-rata	51
4.8. Berat volume beton kuat tekan tambahan.....	52
4.9. Berat volume beton kuat tarik lentur rata-rata	52
4.10. Hasil pengujian normalitas pada data berat volume pengujian	53
4.11. Jumlah tumbukan saat benda uji retak pertama <i>Dixon Criteria</i>	56
4.12. Jumlah tumbukan saat benda uji runtuh total <i>Dixon Criteria</i>	56
4.13. Jumlah tumbukan saat benda uji retak pertama rata-rata.....	57
4.14. Jumlah tumbukan saat benda uji runtuh total rata-rata.....	58
4.15. Hasil analisis energi serapan saat benda uji retak pertama <i>Dixon Criteria</i>	60
4.16. Hasil analisis energi serapan saat benda uji runtuh total <i>Dixon Criteria</i>	60
4.17. Hasil analisis energi serapan saat benda uji retak pertama rata-rata	61
4.18. Hasil analisis energi serapan saat benda uji runtuh total rata-rata.....	62
4.19. Data hasil kuat tekan <i>Dixon Criteria</i>	66
4.20. Data hasil kuat tekan rata-rata	66
4.21. Data hasil kuat tekan tambahan	67
4.22. Data hasil kuat tarik lentur <i>Dixon Criteria</i>	70
4.23. Data hasil kuat tarik lentur rata-rata	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Pengujian kuat tarik lentur.....	20
2.2. Diagram momen dan gaya lintang.....	21
3.1. Cacahan limbah botol air kemasan.....	28
3.2. Air.....	28
3.3. Semen.....	29
3.4. Agregat kasar.....	29
3.5. Agregat halus.....	30
3.6. Timbangan 50 kg.....	30
3.7. Timbangan 20 kg.....	30
3.8. Timbangan 10 kg.....	31
3.9. Cetakan silinder 150 x 300 (mm).....	31
3.10. Cetakan silinder 110 x 60 (mm).....	31
3.11. Cetakan balok 150 x 150 x 600 (mm).....	32
3.12. Sendok semen.....	32
3.13. Saringan agregat kasar.....	33
3.14. Saringan agregat halus.....	33
3.15. Oven.....	33
3.16. <i>Mixer</i>	34
3.17. Bak air.....	34
3.18. CTM (<i>compression testing machine</i>).....	35
3.19. Kerucut <i>abrams</i>	35
3.20. Botol <i>la chatelier</i>	36
3.21. Piknometer.....	36
3.22. <i>Flexural testing frames</i>	37
3.23. ITM (<i>impact testing machine</i>).....	37

3.24. Pengujian kuat tekan.....	41
3.25. Pengujian kuat tarik lentur.....	41
3.26. Pengujian kuat kejut atau <i>impact</i>	42
3.27. Diagram alur prosedur penelitian	44
4.1. Grafik perbandingan nilai <i>slump</i> dengan berbagai volume serat.....	47
4.2. Berat volume beton rata-rata untuk pengujian kuat kejut atau <i>impact</i>	53
4.3. Berat volume beton rata-rata untuk pengujian kuat tekan	54
4.4. Berat volume beton rata-rata untuk pengujian kuat tarik lentur	54
4.5. Pola retakan saat retak pertama	55
4.6. Pola retakan saat runtuh total.....	55
4.7. Perbandingan jumlah tumbukan rata-rata benda uji saat retak pertama....	58
4.8. Perbandingan jumlah tumbukan rata-rata benda uji saat runtuh total	59
4.9. Perbandingan energi serapan rata-rata benda uji saat retak pertama	62
4.10. Perbandingan energi serapan rata-rata benda uji saat runtuh total	63
4.11. Tipe-tipe pola retakan (ASTM C39/C39M-05).....	63
4.12. Pola retakan silinder beton setelah dilakukan pengujian.....	65
4.13. Perbandingan kuat tekan benda uji dengan berbagai volume fraksi serat.....	67
4.14. Pola retak balok beton setelah dilakukan pengujian	69
4.15. Patahan pada bagian dalam beton serat	69
4.16. Perbandingan kuat tarik lentur benda uji dengan berbagai volume fraksi serat.....	71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan salah satu jenis bahan anorganik yang mana tidak semua jenis ini dapat didaur ulang. Botol air kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan salah satu jenis plastik yang dapat didaur ulang. Hingga sekarang plastik menjadi salah satu barang yang pemakaiannya sangat luas dan dapat dikatakan tidak bisa dilepaskan dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaannya sebagai bahan tambah campuran beton merupakan salah satu upaya untuk mengurangi limbah atau sampah plastik yang ada. Kelebihan botol air kemasan antara lain fleksibel dan mudah dibentuk sedangkan kelemahannya yaitu sulit untuk diurai. Perkerasan kaku merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (Adimihardja,2017). Perkerasan kaku menahan tekan dan tarik secara bergantian. Dalam perkerasan kaku, kekuatan terhadap beban lalu lintas dinyatakan dengan kuat tarik lentur beton. Penulangan pada perkerasan kaku digunakan untuk mengontrol retak, bukan untuk memikul beban lalu lintas. Perkerasan kaku dapat menyusut akibat penyusutan beton sewaktu proses mengeras, serta memuai dan menyusut akibat reaksi hidrasi dan lingkungan.

Beton sebagai salah satu bahan dalam konstruksi teknik sipil dapat dimanfaatkan dalam banyak hal. Salah satunya yaitu untuk pekerjaan *rigid pavement* atau perkerasan kaku (Hidayat, 2012). Selain itu, beton juga bisa digunakan pada oprit jembatan, yaitu segmen jalan yang menghubungkan jalan raya dengan jembatan. Beton memiliki keunggulan pada kuat tekan,

ketersediaan bahan pembuatan dan kemudahan dalam penggunaannya. Selain memiliki kelebihan tersebut, beton juga memiliki kelemahan pada tarik. Untuk mengurangi kelemahan tersebut, dilakukan banyak inovasi. Salah satu inovasi dalam dunia konstruksi yaitu penggunaan bahan tambahan campuran pada beton dengan serat botol air kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Beton berserat diartikan sebagai beton yang terbuat dari semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat yang tersebar acak, yang mana dimungkinkan untuk diberi bahan-bahan *additive* (ACI Committee 544). Penggunaan serat dalam beton dapat mengurangi sifat getas/tidak daktail beton. Serat tersebut dapat berupa metal, mineral maupun alami. Perkembangan teknologi di bidang beton serat berkembang dengan pesat. Beton serat sangat berguna untuk memperbaiki atau menaikkan sifat mekanik beton. Sifat mekanik beton diantaranya adalah kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur maupun kuat kejut atau *impact* (Hidayat, 2012). Volume fraksi serat adalah presentase volume serat/*fiber* yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. Semakin tinggi volume fraksi yang ditambahkan ke dalam campuran beton, maka kelecakan adukan beton akan semakin rendah (Purwanto, 2015).

Prinsip penambahan serat adalah memberi *fiber* pada beton yang disebar merata ke dalam adukan beton dengan orientasi *random* untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (Soroushin dan Bayashi, 1987). Dengan adanya penambahan serat, diharapkan beton mampu meningkatkan deformasi, daktilitas serta mengendalikan keretakan yang terjadi pada beton.

Pada penelitian Prianto, 2012, beton dengan penambahan serat 0,5 % menunjukkan peningkatan energi serapan rata-rata sebesar 38,46% dari beton normal saat benda uji retak pertama dan mengalami peningkatan energi serapan

rata-rata sebesar 40,74 % dari beton normal saat benda uji runtuh total pada pengujian kuat kejut atau *impact* saat umur beton 28 hari.

Pada penelitian Modesta dan Zaidir, 2019 didapatkan bahwa pemanfaatan plastik khususnya PET (*Polyethylene Terephthalate*) dalam campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan dibandingkan dengan beton tanpa penambahan plastik. Peningkatan optimum terjadi pada penambahan serat plastik PET 0,5 % yaitu sebesar 11,666% dari beton normal saat umur beton 28 hari.

Beton dengan penambahan plastik serat ukuran panjang 50 mm dengan lebar 1-3 mm memiliki nilai kuat tekan beton tertinggi pada jumlah serat 0,6 %, dengan peningkatan sebesar 9,47 % dari beton normal pada umur beton 28 hari. Beton dengan penambahan plastik mendapatkan nilai nilai kuat lentur beton tertinggi pada jumlah serat 0,8 %, sebesar 19,44 % dari beton normal pada umur beton 28 hari (Hidayatullah, dkk, 2017).

Berdasarkan uraian di atas, maka saya memilih judul skripsi “Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk Meningkatkan Daya Tahan Perkerasan Kaku terhadap Tegangan Lentur”.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam upaya mengurangi limbah plastik, yang sulit terurai maka limbah plastik dimanfaatkan dalam bahan pembentukan campuran beton. Rumusan masalah dalam skripsi dengan judul Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk Meningkatkan Karakteristik Campuran Beton dalam *Rigid Pavement* yaitu:

1. Bagaimana limbah botol air kemasan dapat meningkatkan karakteristik campuran beton dalam *rigid pavement* ?

2. Bagaimana hasil uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik lentur jika bahan pembentukan campuran beton ditambahkan dengan serat limbah botol air kemasan dalam *rigid pavement* ?
3. Bagaimana hasil uji kuat kejut atau *impact* beton jika bahan pembentukan campuran beton ditambahkan dengan serat limbah botol air kemasan dalam *rigid pavement* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang berjudul Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk Meningkatkan Karakteristik Campuran Beton dalam *Rigid Pavement* sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dan nilai kuat tarik lentur beton dengan penambahan serat dari limbah botol air kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET).
2. Untuk mengetahui ketahanan terhadap beban *impact* beton dengan penambahan serat dari limbah botol air kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET).
3. Untuk membandingkan kekuatan tekan, tarik lentur dan kuat kejut antara beton normal dengan beton serat limbah botol air kemasan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian yang berjudul Pemanfaatan Limbah Botol Air Kemasan atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) untuk Meningkatkan Karakteristik Campuran Beton dalam *Rigid Pavement* sebagai berikut:

1. Pengujian untuk campuran beton tersebut dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi dan Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. Jenis semen yang digunakan adalah PCC (*Portland Composite Cement*).
3. Mutu beton yang direncanakan sebesar 25 MPa.
4. Volume fraksi yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah 0 %, 0,2 %, 0,4%, 0,6 %, dan 0,8 % dari volume beton.
5. Ukuran cetakan benda uji yang digunakan adalah untuk 2 jenis silinder memiliki diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm dan diameter 11 cm dengan tinggi 6 cm serta untuk balok memiliki dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm.
6. Ukuran serat yang digunakan adalah panjang 5 cm dengan lebar 2 mm.
7. Metode pengujian yang digunakan untuk sampel campuran beton yaitu uji kuat tekan, uji kuat tarik lentur dan uji kuat kejut atau *impact*.
8. Pengujian pada beton dilaksanakan saat umur beton 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Mampu mengurangi limbah botol air kemasan.
2. Sebagai salah satu perkembangan teknologi beton inovasi dalam dunia konstruksi
3. Mengetahui potensi penambahan serat *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran beton terhadap sifat mekaniknya antara lain yaitu nilai kuat tekan beton dan nilai kuat tarik beton serta ketahanan kejut dari beton tersebut.
4. Sebagai salah satu bahan referensi untuk dapat dilakukan penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara sistematis pembahasan yang diuraikan pada penelitian ini dibagi menjadi lima bab, antara lain sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari serta menunjang penelitian yang akan dilakukan dan diperoleh dari berbagai sumber.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan gambaran umum lokasi penelitian, diagram alir, dan metodologi yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis serta pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dan teori yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil-hasil yang didapat dari pengolahan data dan memberikan saran untuk hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Beton

2.1.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2019, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Campuran beton merupakan campuran yang mengandung rongga-rongga akibat adanya beragam ukuran agregat yang dimasukkan ke dalam campuran tersebut. Rongga-rongga antar agregat ini dapat diperkecil dengan menambah partikel ukuran mikro seperti abu terbang dan *silica fume*. Campuran tersebut akan bertambah keras seiring dengan bertambahnya umur beton tersebut.

2.1.2 Sifat-Sifat Beton

Beton merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki beragam sifat. Sifat beton sangat rentan untuk berubah, terutama sifat pada beton segar yang bersifat plastis dan mudah dibentuk. Sedangkan beton padat yang bersifat keras dan cenderung sulit untuk dibentuk.

Sifat-sifat yang terdapat pada beton yaitu:

a. *Workability*

Workability adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan. *Workability* atau kelecakan dapat didefinisikan sebagai cara mudah dimana beton dapat dibuat, dipindahkan, dan dipadatkan (Ramachandran, 1984).

Workability sangat dipengaruhi oleh banyaknya air yang terdapat dalam campuran beton tersebut.

b. Segregasi

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi (Mulyono, 2004). Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil pada beton yang akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton.

c. *Bleeding*

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung di dalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan apabila air yang dipakai berlebihan.

d. *Durability*

Salah satu sifat beton yang harus dimiliki adalah tahan lama. Pengertian tahan lama disini adalah kemampuan beton dalam bertahan tanpa terjadi degradasi dalam jangka waktu yang telah direncanakan. Sifat tahan lama pada beton dikelompokkan antara lain dalam hal ketahanan terhadap pengaruh cuaca, tahan terhadap zat kimia, dan terhadap erosi.

e. Rangkak (*Creep*)

Merupakan salah satu sifat dimana beton mengalami deformasi terus-menerus menurut waktu di bawah beban yang ditahan.

f. Susut (*Shrinkage*)

Merupakan perubahan volume yang tidak memiliki hubungan dengan pembebanan melainkan karena proses hidrasi. Akibat hidrasi sesungguhnya beton juga mengalami ekspansi dalam prosesnya menjadi keras. Laju deformasi ini tinggi saat beton masih muda, kemudian semakin lama semakin lambat.

g. Modulus Elastisitas

Adalah perbandingan antara tegangan beton dengan regangan beton biasanya ditentukan pada 25%-50% dari kuat tekan beton tersebut.

h. Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton dihasilkan melalui tata cara pengujian standar SNI 03- 1974-2011 Pasal 6 menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu. Pengertian kuat tekan beton adalah kuat tekan benda uji berbentuk silinder dan umur beton 28 hari (Pasal 6.2 SNI 2011) Dalam penelitian ini direncanakan pengujian mutu beton sebesar 25 MPa dengan umur uji selama 28 hari.

i. Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) (SNI 03-4431-1997 Pasal 1.3.2).

j. Kuat Kejut atau *Impact*

Menurut PCA (*Portland Cement Association*), ketahanan kejut didefinisikan sebagai energi total yang diperlukan untuk membuat benda uji retak dan patah menjadi beberapa bagian, yang diketahui dari jumlah pukulan suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Pengujian yang paling sederhana dalam pengujian kuat kejut adalah metode pembebanan berulang tiba-tiba (*drop weight test*). Pengujian ini memberikan hasil jumlah pukulan yang menyebabkan kehancuran benda uji. Jumlah ini memberikan perkiraan kualitatif dari energi yang diserap benda uji pada saat mengalami kehancuran (*ACI 544.2R-89*).

2.1.3 Bahan Penyusun Beton

a. Semen

Jenis-jenis semen yang terdapat di Indonesia antara lain : *Ordinary Portland Cement* (OPC), *Portland Composite Cement* (PCC), dan *Portland Pozzolan Cement* (PPC).

- Semen *portland* biasa (OPC)

Semen *portland* biasa adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya (SNI 15-2049-2004).

- Semen *portland* komposit (PCC)

Semen *portland* komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 %-35% dari massa semen (SNI 15-7964-2004).

Semen *portland* komposit (PCC) merupakan jenis semen baru yang telah diproduksi oleh beberapa pabrik semen (produsen) dengan cara memberi bahan tambahan (*inert*) dari semen *portland* tipe I dengan bahan lain yang tidak mengurangi mutu semen yang dihasilkan. Bahan tambahan ini tidak melalui proses pembakaran seperti halnya dalam pembentukan klinker semen, tetapi hanya memerlukan penggilingan sampai kehalusan tertentu sehingga selain dapat mengurangi energi yang diperlukan juga dapat mengurangi emisi serta biaya produksi dari semen. Untuk menjaga mutu dari semen ini maka telah ditetapkan

spesifikasinya berdasar SNI 15-7064-2004, sehingga dari aspek mutu produk sudah jelas persyaratan yang harus diacu. Dalam penggunaannya jenis semen ini secara umum ditujukan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama halnya dengan menggunakan Semen *portland* jenis I dengan kuat tekan yang relatif sama. Dalam petunjuk teknis juga dijelaskan bahwa jenis semen PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pengerasan dibanding dengan Semen *portland* jenis I, sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/ plester yang lebih rapat dan lebih halus.

- Semen *portland pozzolan* (PPC)

Semen *portland pozzolan* adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen *portland* dengan *pozzolan* halus (SNI 15-2049-2004).

b. Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam pembuatan campuran beton yang diperlukan untuk proses reaksi kimia. Selain itu, air berfungsi untuk pelumas antara butiran agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang digunakan dalam campuran beton berupa air bersih dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas beton tersebut.

Menurut SNI 03-6861.1-2002, persyaratan air untuk campuran beton yaitu :

- Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual
- Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter
- Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter

- Kandungan klorida kurang dari 0,5 gram/liter dan senyawa sulfat kurang dari 1 gram/liter sebagai SO_3 .

c. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton (Tjokrodimuljo 1996). Agregat merupakan salah satu bahan pengisi dalam beton dengan demikian agregat memiliki peranan penting pada beton. Kandungan agregat pada beton kira-kira mencapai 70-75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton agar mencapai kekuatan beton yang diinginkan. Sifat yang paling penting dari suatu agregat adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi kekuatan pasta semen, porositas, dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses ketahanan dalam penyusutan.

- **Agregat Halus**

Agregat halus pada beton dapat berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir batuan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Ukuran butiran agregat halus umumnya berkisar antara 0,15 mm dan 4,8 mm. Agregat halus atau pasir yang baik apabila butir-butirnya tajam dan kasar, tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % dari berat, serta bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.

- **Agregat Kasar**

Menurut SNI 1970-2008 Pasal 3.3., agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm sampai 40 mm.

Agregat kasar atau kerikil yang baik adalah apabila butir-butirnya keras dan tidak berpori, tidak mengandung lumpur lebih dari 1% serta zat-zat reaktif alkali. Butir-butir agregat kasar bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan, memiliki angka kehalusan (*fineness modulus*) antara 6-7,5.

2.1.4 Keleccakan Beton (*Slump*)

Slump merupakan tinggi dari adukan pada kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakannya diambil. *Slump* merupakan pedoman yang digunakan untuk mengetahui tingkat keleccakan suatu adukan beton, semakin tinggi tingkat keleccakan atau semakin tinggi *slump* maka semakin mudah pengerjaannya.

2.1.5 Berat Volume Beton

Penentuan berat volume beton segar dipengaruhi oleh jumlah air pengaduk dan berat jenis agregat gabungan yang digunakan. Berat volume diartikan sebagai suatu perbandingan antara berat adukan dengan volume adukan beton :

$$D = \frac{W_1 - W_2}{V}$$

Dimana :

D = Berat atau volume beton segar (gram/cm³)

W1 = Berat beton segar ditambah dengan kontainer (gram)

W2 = Berat kontainer (gram)

V = Volume beton segar (cm³)

2.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

2.2.1 Pengertian Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku (beton semen) merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (perkerasan lentur) (Adimihardja, 2017)

Rigid pavement atau perkerasan kaku adalah jenis perkerasan jalan yang menggunakan beton sebagai bahan utama. Perkerasan kaku merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang sering digunakan selain dari perkerasan lentur. Perkerasan ini umumnya dipakai pada jalan yang memiliki kondisi lalu lintas yang cukup padat dan memiliki distribusi beban yang besar, seperti pada jalan - jalan lintas antar provinsi, jembatan layang, jalan tol, maupun pada persimpangan bersinyal. Jalan – jalan tersebut pada umumnya menggunakan beton sebagai bahan perkerasannya, namun untuk meningkatkan kenyamanan biasanya di atas permukaan perkerasan dilapisi aspal (Sukirman, 1999).

2.2.2 Lapisan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Lapisan-lapisan yang terdapat pada perkerasan kaku atau *rigid pavement* yaitu :

a. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Persyaratan tanah dasar untuk perkerasan kaku sama dengan pada perkerasan lentur, baik hal daya dukung, kepadatan maupun kerataannya. Daya dukung ditentukan dengan pengujian CBR, apabila tanah dasar mempunyai CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang lapisan pondasi bawah.

b. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir agregat atau bahan pengikat lainnya seperti semen dan kapur. Lapisan pondasi bawah tidak ditujukan untuk ikut menahan beban lalu lintas, tetapi lebih berfungsi sebagai lantai kerja. Salah satu fungsi dari lapisan pondasi bawah yaitu mengurangi kemungkinan terjadinya retak-retak pada pelat beton.

c. Lapisan Pelat Beton (*Concrete Slab*)

Lapisan pelat beton terbentuk dari campuran semen, air, dan agregat. Oleh sebab itu, bahan-bahan yang digunakan untuk pekerjaan beton harus sesuai dengan ketahanan yang dituntut kemudian dilakukan pengujian terlebih dahulu dan tidak terdapat unsur yang dapat menyebabkan penurunan kualitas beton seperti lumpur, minyak, bahan organik, dan lain-lain.

Dibandingkan dengan elemen struktur lain, lapisan perkerasan kaku ini mengalami perubahan cuaca secara langsung dan terus menerus, menerima beban dinamis sehingga beton harus mampu menahan tarik dan tekan bergantian serta menerima beban kejut.

2.2.3 Jenis-Jenis Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku yang berupa pelat beton dilengkapi dengan beberapa sambungan, seperti sambungan susut melintang, sambungan memanjang, sambungan pelaksanaan serta sambungan muai (Adimihardja, 2017).

Jenis perkerasan kaku yang dikenal ada 5, yaitu :

a. Perkerasan Kaku Bersambung tanpa Tulangan atau “*Joint Unreinforced (plain) Concrete Pavement*” (JPCP)

Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan adalah jenis yang paling umum digunakan karena biaya relatif murah dalam pelaksanaan dibanding jenis lainnya. Survei yang dilakukan oleh *American*

Concrete Pavement Association (ACPA) pada tahun 1999, di Amerika Serikat 70% dari badan pengelola jalan negara (*State Highway Agencies*) menggunakan perkerasan bersambung tanpa tulangan.

Sambungan susut umumnya dibuat setiap antara 3,6 m dan 6 m (di Indonesia umumnya antara 4,5 m dan 5 m). Sambungan ini mempunyai jarak yang relatif dekat sehingga retak tidak akan terbentuk di dalam pelat sampai akhir umur layan dari perkerasan tersebut. Karena itu pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, pemuaian dan penyusutan perkerasan diatasi melalui sambungan.

b. Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan atau “*Jointed Reinforced Concrete Pavement*” (JRCP)

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau JRCP serupa dengan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JRCP) kecuali ukuran pelat lebih panjang dan ada tambahan tulangan pada pelatnya. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m dan 12 m, meskipun ada juga yang jarak sambungannya sebesar 30 m.

c. Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan atau “*Continuously Reinforced Concrete Pavement*” (CRCP)

Perkerasan kaku menerus dengan tulangan adalah pelat dengan jumlah tulangan yang cukup banyak tanpa sambungan susut. Jumlah tulangan yang digunakan pada arah memanjang umumnya antara 0,6% dan 0,8 % dari luas penampang melintang beton, dan jumlah tulangan dalam arah melintang lebih kecil dari arah memanjang.

d. Perkerasan Beton Semen Prategang atau “*Prestressed Concrete Pavement*”

Beton yang tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan baja prategang (*strand*) dilakukan pra-tarik (*pre-tension*) sebelum beton mengeras atau dilakukan pasca-tarik (*post-tension*) setelah beton mengeras. Dengan prategang, tebal

perkerasan beton menjadi lebih tipis 35% -40% daripada konvensional pada kondisi lapisan dasar dan lalu lintas yang sama (*American Concrete Institute, ACI 325.7R-88*).

e. Perkerasan Beton Semen Pracetak (dengan dan tanpa prategang)

Penggunaan perkerasan kaku pracetak memiliki keuntungan terjaganya kualitas beton sesuai yang direncanakan, pengaruh akibat cuaca sangat kecil, dan selama pelaksanaan tidak terlalu mengganggu lalu lintas. Perkerasan kaku pracetak dibagi menjadi dua jenis yaitu perkerasan kaku pracetak tanpa prategang dan perkerasan kaku pracetak dengan prategang. Perkerasan kaku pracetak prategang dengan tebal pelat 20 cm setara dengan perkerasan kaku konvensional setebal 35,5 cm.

2.3 Plastik

2.3.1 Pengertian Plastik

Plastik mempunyai peranan besar dalam kehidupan sehari-hari biasanya digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman karena sifatnya yang kuat, ringan dan praktis. Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau monomer. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terbentuk dengan menggunakan zat lain untuk menghasilkan plastik yang ekonomis (Azizah, 2009 dalam Ningsih, 2010).

2.3.2 Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Polyethylene adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137°C. Umumnya *polyethylene* tahan terhadap zat kimia. Monomernya, yaitu etana, diperoleh dari hasil perengkahan (*cracking*) minyak atau gas bumi (Billmeyer, 1994). PET didaur ulang sebagai serat poliester dalam industri bantal, *bed cover*, dan botol minuman yang tidak digunakan untuk air panas.

2.3.3 Dampak Plastik Terhadap Lingkungan

Plastik adalah polimer buatan yang bersifat sulit terurai pada alam. Untuk bisa terurai secara sempurna dibutuhkan waktu bertahun-tahun lamanya. Jika dibandingkan antara penggunaan plastik yang terus meningkat terhadap waktu yang dibutuhkan untuk terurai tentu bisa dibayangkan bagaimana dampak penumpukan limbah plastik dalam lingkungan.

Sampah plastik yang belum terurai terbawa oleh arus laut dapat mencemari biota laut, bahkan dapat menimbulkan kematian pada hewan-hewan laut. Di darat, tanah yang mengandung racun partikel plastik dapat membunuh hewan pengurai, seperti cacing yang berakibat menurunkan tingkat kesuburan tanah. Sampah yang menumpuk di sungai dapat menimbulkan penyumbatan aliran sungai, sehingga banjir pun tidak dapat dihindarkan. Bagi manusia, asap pembakaran dari limbah plastik dapat memicu penyakit seperti kanker, gangguan pernapasan, gangguan sistem saraf, serta hepatitis. Dalam hal ini, sebenarnya limbah plastik sangat berbahaya bagi manusia dan lingkungan sekitar.

2.3.4 Penanggulangan Plastik

Plastik merupakan salah satu benda yang sulit diurai. Maka dari itu, kita harus mengurangi pemakaian plastik agar tercipta lingkungan yang bersih dan mendukung salah satu program pemerintah. Salah satu cara dalam mengurangi plastik yang menumpuk di lingkungan yaitu menggunakan sampah plastik dalam campuran beton. Dalam penelitian ini, salah satu jenis plastik yang digunakan dalam campuran beton adalah PET (*Polyethylene Terephthalate*). PET yang digunakan adalah botol plastik air kemasan. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) memiliki sifat yaitu titik leleh yang relatif tinggi, kekuatan yang tinggi, kaku, serta tahan bahan kimia dan panas. Kekuatan tarik dari plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan plastik HDPE (*High Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), atau LDPE (*Low Density Polyethylene*).

2.4 Landasan Teori

2.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton tersebut hancur. Beban diberikan secara bertahap oleh mesin tekan. Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai mencapai beban maksimum.

Rumus untuk kuat tekan beton adalah :

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

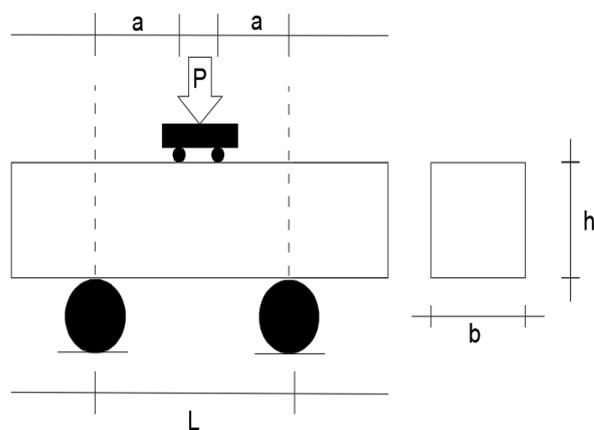
A = Luas bidang tekan (mm^2)

2.4.2 Kuat Tarik Lentur Beton

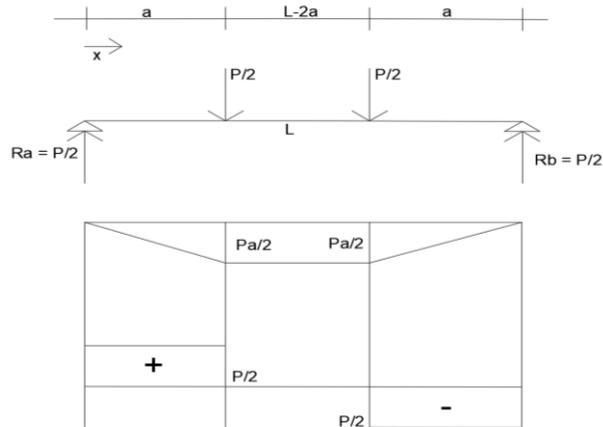
Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) (SNI 03-4431-1997).

Sebuah balok yang diberikan beban akan mengalami lenturan sepanjang balok yang dinyatakan dengan bidang momen. Terdapat 2 jenis deformasi dalam lentur yaitu tekan dan tarik. Lenturan yang terjadi harus lebih kecil dari lendutan izin yang tertera pada SNI 2847:2019. Tegangan yang timbul selama mengalami deformasi tidak boleh melebihi tegangan lentur ijin untuk bahan dari beton tersebut.

Sistem pembebanan pada pengujian kuat tarik lentur, yaitu benda uji dibebani sedemikian rupa sehingga hanya akan mengalami keruntuhan akibat beban lentur murni seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1. Pengujian kuat tarik lentur.



Gambar 2.2. Diagram momen dan gaya lintang.

Rumus untuk kuat tarik lentur beton adalah :

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Dimana :

f_r = Kuat tarik lentur (MPa)

P = Beban pada waktu lentur (N)

a = Jarak dari perletakan ke gaya (mm)

b = Lebar penampang balok (mm)

h = Tinggi penampang balok (mm)

2.4.3 Kuat Kejut Beton (*Impact*)

Ketahanan kejut adalah ukuran energi yang dibutuhkan untuk menghancurkan benda uji dihitung dari energi sisa yang tersimpan dalam *hammer* setelah tumbukan dengan mengetahui jumlah pukulan pada pembebanan uji kejut berulang untuk menentukan tingkat kehancuran (ACI 544.2R-89).

Pengujian yang paling sederhana dalam pengujian *impact* adalah metode pembebanan berulang tiba-tiba (*drop weight test*). Pengujian ini memberikan hasil jumlah pukulan yang menyebabkan kehancuran benda uji. Jumlah ini memberikan perkiraan kualitatif dari energi yang diserap oleh benda uji pada saat mengalami kehancuran (ACI 544.2R-89).

Semua energi yang bekerja pada batang seluruhnya atau sebagian besar ditransformasikan ke dalam energi potensial regangan E_p .

Rumus untuk kuat kejut beton adalah :

$$\begin{aligned} E_{maks} &= 2 E_p \\ &= n \times 2 \times m \times g \times h \end{aligned}$$

Dimana :

E_{maks}	= energi serapan (Joule)
n	= jumlah pukulan berulang
m	= massa beban yang dijatuhkan (kg)
g	= gravitasi (m/s^2)
h	= tinggi jatuh (m)

2.4.4 Beton Serat (*Fiber Reinforced Concrete*)

Beton bertulang serat adalah beton yang dibuat terutama dari semen hidrolik, agregat, dan serat penguat diskrit. Serat yang cocok untuk memperkuat beton telah diproduksi dari baja, kaca, dan polimer organik (serat sintesis). Beton berserat diartikan sebagai beton yang terbuat dari semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat yang tersebar secara acak, yang mana dimungkinkan untuk diberi bahan-bahan *additive* (ACI Committee 544).

Beton serat dapat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari semen *portland* atau bahan pengikat hidrolis lainnya yang ditambah dengan agregat halus dan kasar, air, dan diperkuat dengan serat (Hannant, 1978). Beberapa jenis serat adalah *steel fiber reinforced concrete* (SFRC), *glass fiber reinforced concrete* (GFRC) , *synthetic fiber reinforced concrete* (SNFRC), dan *natural fiber reinforced concrete* (NFRC).

- Beton bertulang serat baja atau *steel fiber reinforced concrete* (SFRC)
Beton yang terbuat dari semen hidrolik yang mengandung agregat halus atau halus dan kasar dan serat baja diskrit terputus-putus.
- Beton bertulang serat kaca atau *glass fiber reinforced concrete* (GFRC)

Beton yang menggunakan serat kaca borosilikat konvensional (*E-glass*) dan serat kaca *soda-lime-silica* (*A-glass*)

- c. Beton bertulang serat sintesis atau *synthetic fiber reinforced concrete* (SNFRC)

Beton bertulang menggunakan berbagai bahan serat selain baja, kaca, atau serat alam telah dikembangkan untuk digunakan oleh industri konstruksi untuk beton bertulang serat. SNFRC memanfaatkan serat yang berasal dari polimer organik yang tersedia dalam berbagai formulasi.

- d. Beton bertulang serat fiber alami atau *natural fiber reinforced concrete* (NFRC)

Beton bertulang yang diperkuat dengan serat alami. Penggunaan beberapa *fiber* alami paling terkenal seperti kelapa, ampas tebu, palem, dan lain-lain.

Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat sintesis atau *synthetic fiber*.

Beton serat mempunyai kelebihan dibanding beton tanpa serat dalam beberapa sifat strukturnya antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan lentur (*tensile and flexural strength*), kelelahan (*fatigue life*), ketahanan terhadap pengaruh susut (*shrinkage*), dan ketahanan terhadap keausan (*abrasion*) (Soroushian dan Bayashi,1987).

Kelemahan pada tarik dapat diatasi dengan penggunaan tulangan baja konvensional dalam jumlah yang cukup dan sampai batas tertentu dengan pencampuran volume tertentu yang cukup serat. Penggunaan serat juga mengkalibrasi ulang sifat dari campuran beton dengan serat setelah mengalami retak dengan meningkatkan ketahanannya (Nataraja, dkk ,1999).

Serat yang digunakan untuk memperkuat beton dapat dibagi menjadi dua kategori antara lain modulus rendah dan modulus tinggi serat

elastisitas seperti nilon, *polypropylene* dan *polyethylene* di mana serat pada dasarnya meningkatkan karakteristik penyerapan energi dan kekuatan tinggi, modulus tinggi. seperti baja, kaca dan serabut di mana serat dapat meningkatkan kekuatan, serta ketangguhan material penyusunnya (Swamy, dkk 1985).

Menurut Romualdi, dkk (1963), menyimpulkan dalam karya tulis mereka bahwa kekuatan retak pertama beton dapat ditingkatkan dengan mencampurkan serat kaca yang berjarak rapat di dalamnya. Untuk mencegah retakan kecil, serat kaca bertindak sebagai penahan retak dengan mekanisme gaya tarik pada ujung retakan yang juga memprediksi tentang penyebaran retak. Dalam pernyataan di atas, mekanisme tersebut memperbaiki ketahanan terhadap kelelahan dan ketahanan benturan.

Beton serat berguna untuk meningkatkan sifat mekanik dalam beton yaitu kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat kejut atau *impact*. Penambahan serat pada beton juga difungsikan untuk memperbaiki kelemahan sifat yang dimiliki beton yaitu memiliki kuat tarik yang rendah.

2.4.5 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji data yang diamati memiliki distribusi normal atau tidak. Uji normalitas biasanya digunakan dalam penelitian kuantitatif untuk memastikan bahwa data yang diamati memenuhi asumsi yang diperlukan oleh beberapa metode analisis statistik, seperti analisis regresi atau uji t. Jika data tidak memiliki distribusi normal, maka metode-metode tersebut tidak memberikan hasil yang akurat, sehingga untuk mengetahui apakah data tersebut normal atau tidak. Untuk menguji apakah data memiliki distribusi normal, terdapat beberapa uji yang dapat digunakan, seperti uji Kolmogorov-Smirnov, uji Anderson-Darling, dan uji Shapiro-Wilk.

Masing-masing uji ini memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri tergantung pada jenis data yang diamati. Uji normalitas ini digunakan pada data berat volume beton untuk pengujian kuat kejut, kuat tekan, dan kuat tarik lentur. Metode yang digunakan menggunakan uji Shapiro-Wilk.

2.4.6 Pemanfaatan Plastik dalam Campuran Beton

Pada penelitian Gandjar, dkk 2008, pada penambahan larutan limbah plastik sebesar 2,929% dan 3,149% terjadi kenaikan kuat tekan beton pada pengujian 28 hari hingga 3,33%.

Pada penelitian Mahendya, dkk 2008, pada penambahan kadar PET volume fraksi 0,5 % ke dalam adukan beton saat umur 7 hari, akan meningkatkan kekuatan tarik belah pada beton maksimum sebesar 25,44%, sedangkan pada umur 28 hari penambahan kadar PET volume fraksi 0,7% akan meningkatkan kekuatan tarik belah pada beton maksimum sebesar 19,39%.

Pada penelitian Abdo dan Jung, 2019, penambahan serat limbah plastik ke campuran PCC (*Portland Composite Cement*) dalam persentase rendah meningkatkan kuat tekan dan lentur, terutama pada kandungan serat 0,25% dari berat campuran PCC.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimental, dengan membandingkan hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat kejut atau *impact* dengan perbedaan penambahan persentase volume limbah botol air kemasan ke dalam benda uji beton tersebut dan menganalisisnya.

3.2 Pengujian dan Benda Uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji kuat tekan, uji kuat tarik lentur, dan uji kuat kejut atau *impact*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm untuk uji kuat tekan (SNI 1974:2011) sedangkan silinder dengan diameter 110 mm dan tinggi 60 mm untuk uji kuat kejut atau *impact* (Prianto, 2012) serta balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm untuk uji kuat tarik lentur (SNI 4810:2013). Penambahan persentase volume serat limbah botol air kemasan ke dalam campuran beton bisa dilihat pada Tabel 3.1. dan Tabel 3.2. Penambahan variasi serat persentase volume terdiri dari 9 (sembilan) benda uji yaitu 6 (enam) benda uji silinder dan 3 (tiga) benda uji balok. Setiap benda uji dilakukan pengujian saat berumur 28 hari.

Tabel 3.1. Jumlah benda uji silinder.

Jenis pengujian	Persentase volume					Jumlah
	0 %	0,2 %	0,4 %	0,6 %	0,8%	
Kuat tekan	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	15 benda uji
Kuat kejut	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	15 benda uji
Jumlah	6	6	6	6	6	30

Tabel 3.2. Jumlah benda uji balok.

Jenis pengujian	Persentase volume					Jumlah
	0 %	0,2 %	0,4 %	0,6 %	0,8%	
Kuat tarik lentur	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	3 benda uji	15 benda uji
Jumlah	3	3	3	3	3	15

3.3 Persiapan Material

Material yang disiapkan sebagai berikut :

1. Cacahan limbah botol air kemasan

Cacahan yang digunakan dalam penelitian ini ukuran 2 mm x 50 mm. Teknis pemotongan cacahan yaitu secara manual dan menggunakan alat pemotongan plastik. Perbedaan benda uji satu dengan yang lain adalah persentase volume limbah botol air kemasan ke dalam campuran beton.



Gambar 3.1. Cacahan limbah botol air kemasan.

2. Air

Air yang digunakan harus dalam keadaan bersih, tidak mengandung zat-zat kimia sehingga tidak mempengaruhi kualitas beton. Pada penelitian ini, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.



Gambar 3.2. Air.

3. Semen

Semen adalah bahan material yang berfungsi sebagai pengikat untuk campuran beton. Semen yang digunakan adalah PCC (*Portland Composite Cement*) dengan keadaannya masih tertutup dalam kemasan. Semen yang digunakan adalah merek Semen Padang.



Gambar 3.3. Semen.

4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang lolos ukuran saringan 19 mm.



Gambar 3.4. Agregat kasar.

5. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berupa pasir berbutir tajam, keras, bebas dari bahan-bahan organik, lumpur serta memenuhi komposisi ukuran butiran yang beragam. Agregat halus berasal dari industri pasir. Agregat halus yang digunakan adalah agregat halus yang lolos saringan dengan ukuran saringan 4,75 mm (No 4).



3.5. Agregat halus.

3.4 Alat-Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan berkapasitas maksimum 50 kg yang digunakan untuk menimbang berat benda uji dan timbangan berkapasitas maksimum 20 kg untuk mengukur berat masing-masing material penelitian serta timbangan digital berkapasitas maksimum 10 kg untuk mengukur berat plastik yang telah dipotong.



Gambar 3.6. Timbangan 50 kg.



Gambar 3.7. Timbangan 20 kg.



Gambar 3.8. Timbangan 10 kg.

2. Cetakan Benda Uji

Cetakan yang digunakan berfungsi untuk mencetak beton dengan berbentuk silinder dan balok. Cetakan benda uji yang berbentuk silinder memiliki diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan untuk pengujian kuat tekan sedangkan silinder memiliki diameter 110 mm dan tinggi 60 mm digunakan untuk pengujian kuat kejut atau *impact*, cetakan yang berbentuk balok memiliki ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur.



Gambar 3.9. Cetakan silinder
150 x 300 (mm).



Gambar 3.10. Cetakan silinder
110 x 60 (mm).



Gambar 3.11. Cetakan balok 150 x 150 x 600 (mm).

3. Sendok Semen

Sendok semen digunakan untuk mengaduk dan menuangkan campuran beton ke dalam cetakan benda uji.



Gambar 3.12. Sendok semen.

4. Saringan

Saringan digunakan untuk mengetahui gradasi agregat, baik agregat halus maupun kasar sehingga mendapatkan nilai modulus kehalusan butirnya.



Gambar 3.13. Saringan
agregat kasar.



Gambar 3.14. Saringan
agregat halus.

5. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan material yang digunakan dalam penelitian saat pengujian material yang memerlukan kondisi kering.



Gambar 3.15. Oven.

6. Mesin Pengaduk (*Mixer*)

Mesin pengaduk adalah alat yang berfungsi sebagai pembuat atau pengaduk campuran beton yang terdiri dari air, semen, pasir, serta kerikil.



Gambar 3.16. *Mixer.*

7. Bak Air

Alat ini berfungsi sebagai tempat perendaman atau perawatan beton yang telah mengeras.



Gambar 3.17. Bak air.

8. CTM (*Compression Testing Machine*)

Alat ini digunakan untuk menentukan kekuatan terhadap tekan pada benda uji. Tanggal kalibrasi pada alat CTM yaitu 30 Desember 2022.



Gambar 3.18. CTM (*compression testing machine*).

9. *Slump Test Apparatus*

Alat yang digunakan pada *slump test* adalah kerucut *Abrams*, pelat baja, dan batang baja. Percobaan ini berfungsi untuk menentukan kelecakan adukan beton tersebut. Ukuran kerucut *Abrams* berdiameter bawah 200 mm, diameter atas 100 mm, dan tinggi 300 mm. Ukuran batang baja berdiameter 16 mm dengan panjang 600 mm.



Gambar 3.19. Kerucut *abrams*.

10. Botol *La Chatelier*

Alat ini digunakan untuk menentukan berat jenis PCC (*Portland Composite Cement*). Alat ini memiliki kapasitas sebesar 250 ml.



Gambar 3.20. Botol *la chatelier*.

11. Alat Vicat

Alat yang digunakan untuk menentukan waktu pengikatan permulaan dan waktu pengikatan akhir pada PCC (*Portland Composite Cement*).

12. Piknometer

Alat yang digunakan untuk menentukan berat jenis saat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*), berat jenis kondisi kering, berat jenis semu, dan penyerapan pada agregat halus.



Gambar 3.21. Piknometer.

13. *Flexural Testing Frames*

Alat yang digunakan untuk menguji kuat tarik lentur terhadap benda uji.



Gambar 3.22. *Flexural testing frames*.

14. *Impact Testing Machine*

Alat yang digunakan untuk menguji kuat kejut atau *impact* terhadap benda uji.



Gambar 3.23. ITM (*impact testing machine*).

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Material dan Peralatan

Dalam memulai sebuah penelitian, harus disiapkan material dan peralatan yang ingin digunakan. Kemudian pemeriksaan terhadap peralatan bahwa peralatan dalam kondisi berfungsi, telah dikalibrasi dan siap digunakan untuk penelitian.

2. Pemeriksaan Material Penyusun Beton

Pada tahap ini dilakukan pengujian material penyusun beton salah satunya seperti agregat halus dan kasar yang sesuai aturan pada ASTM C33, berfungsi untuk mengetahui data yang digunakan agar sesuai dengan persyaratan.

3. *Mix Design*

Pada pelaksanaan ini dilakukan rencana pembuatan campuran beton dengan menggunakan metode *ACI Committee 544*. Perencanaan membuat campuran beton sangat utama untuk mendapatkan kekuatan rencana yang diinginkan.

4. Pembuatan Benda Uji

Beberapa tahap dalam pembuatan benda uji sebagai berikut :

a. Pembuatan campuran beton dari hasil yang telah diperhitungkan

1) Mempersiapkan bahan penyusun beton

Bahan penyusun beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus direncanakan dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*). Supaya bahan penyusun beton yang telah direncanakan tidak menyerap air karena perubahan volume air berpengaruh pada kekuatan beton tersebut.

2) Setelah bahan-bahan siap, kemudian bahan-bahan tersebut dicampur menggunakan mesin pengaduk untuk membuat benda uji kuat tekan dan kuat tarik lentur sedangkan untuk pengujian kuat kejut atau *impact* secara manual. Langkah awal agregat kasar dan agregat halus dimasukkan ke dalam mesin pengaduk. Selanjutnya mesin pengaduk

dihidupkan setelah itu ditambahkan semen dan air bersih pada mesin pengaduk saat bekerja. Saat proses pencampuran beton, ditambahkan serat plastik yang telah direncanakan. Proses berlangsung selama tiga menit. Setelah tercampur adukan beton segar dituangkan ke dalam kontainer besar sebagai tempat penampungan sementara sebelum dituangkan ke dalam cetakan.

b. Penambahan serat plastik yang direncanakan

Penambahan serat plastik dilakukan dengan cara bertahap supaya serat plastik tersebut tercampur secara merata pada proses pengadukan beton agar tidak terjadi gumpalan yang dapat mempengaruhi kekuatan beton. Teknis pemotongan serat yang digunakan dalam pencampuran dilakukan secara manual dan menggunakan alat pemotong plastik.

c. Mendapatkan nilai *slump*

1) Langkah pertama yaitu dengan mempersiapkan kerucut *Abrams*, kemudian campuran beton dimasukkan pada kerucut *Abrams* sampai $\frac{1}{3}$ bagian isi, dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 25 kali. Setelah itu, tambahkan kembali campuran beton sampai $\frac{2}{3}$ bagian isi. Selanjutnya, ditumbuk kembali sebanyak 25 kali. Tambahkan kembali campuran beton sampai terisi penuh selanjutnya tumbuk kembali sebanyak 25 kali. Kemudian isi penuh campuran beton ke dalam kerucut *Abrams* dan ratakan menggunakan sekop.

2) Selanjutnya kerucut *Abrams* tersebut diangkat dan penurunannya diukur menggunakan meteran untuk mendapatkan nilai *slump*.

Nilai *slump* yang direncanakan dalam perhitungan *mix design* dengan nilai *slump* yang dilakukan di laboratorium sesuai dengan yang direncanakan.

d. Mencetak benda uji berbentuk silinder yang diperuntukkan pengujian kuat tekan dan kuat kejut serta benda uji berbentuk balok yang diperuntukkan pengujian kuat tarik lentur. Cara pembuatan benda uji sebagai berikut:

1) Menyiapkan cetakan benda uji silinder dan balok

2) Mengoleskan oli pada sisi dalam pada cetakan benda uji tersebut

- 3) Memasukkan campuran beton ke dalam cetakan hingga terisi penuh kemudian dipadatkan menggunakan *vibrator*. *Vibrator* digunakan agar tidak terjadi segregasi pada campuran beton tersebut. Pembuatan benda uji kuat kejut tidak menggunakan *vibrator* karena cetakan terlalu kecil. Segregasi dicegah dengan cara diketuk secara pelan dengan sendok semen pada bagian samping cetakan tersebut.
- 4) Meratakan bagian atas permukaan cetakan benda uji ketika terisi penuh setelah dipadatkan.
- 5) Mendinginkan sampel selama 24 jam, kemudian sampel beton tersebut dilepaskan dari cetakan benda uji.
- 6) Memberikan kode pada masing-masing sampel pada bagian atas permukaannya.

5. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Pada tahap ini dilakukan perawatan pada benda uji yang telah dibuat sebelumnya. Perawatan beton berfungsi menjaga agar beton selalu lembab. Hal ini dilakukan agar proses hidrasi berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi sempurna sehingga mutu beton dapat terjamin. Perawatan beton ini dilakukan dengan cara merendam benda uji ke dalam bak berisi air selama 7 hari. Setelah 7 hari, beton tersebut diangkat dari bak air tersebut kemudian didiamkan sampai umur beton 28 hari.

6. Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji yaitu uji kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat kejut atau *impact* dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari.

a. Uji kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*). Pertama yang dilakukan dengan mengatur alat CTM tersebut. Benda uji berbentuk silinder yang telah dilakukan proses *curing* diangkat dan ditimbang. Berat benda uji dicatat dan diberi kode agar tidak tertukar. Selanjutnya, benda uji diberi lapisan belerang setebal 1,5-3 mm pada permukaan tekan benda uji.

Benda uji tersebut diletakkan pada tempat penekan CTM dengan posisi vertikal. Kemudian mesin tekan dihidupkan dan alat tersebut menekan benda uji silinder sampai mengalami retak atau angka yang tertera pada mesin tidak bertambah lalu mesin tekan dimatikan.

Angka pada mesin tersebut adalah besarnya beban tekan beton untuk setiap benda uji. Angka dengan kondisi tersebut dicatat. Besarnya tegangan tekan benda uji silinder dihitung yang merupakan kuat tekan beton untuk sampel tersebut.



Gambar 3.24. Pengujian kuat tekan.

b. Uji kuat tarik lentur beton

Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *flexural testing frames*. Pengujian kuat lentur diperhatikan dengan membebani benda uji balok tiap sepertiga bentang dengan beban titik $1/2P$. Kemudian, diberikan beban tekan dari *flexural testing frames* sampai kondisi benda uji balok mengalami keruntuhan lentur. Beban, lebar dan posisi retak dicatat dan dianalisis.



Gambar 3.25. Pengujian kuat tarik lentur.

c. Uji kuat kejut atau *impact*

Pengujian kuat kejut beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya energi serapan yang diterima oleh benda uji sesudah terjadi tumbukan. Besar energi tumbukan dihitung berdasarkan jumlah pukulan.

Benda uji yang digunakan adalah beton berbentuk silinder dengan diameter 110 mm dan tinggi 60 mm. Pengujian kuat kejut bertujuan mengetahui jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat benda uji retak pertama kali sampai benda uji mengalami runtuh total. Berat total pemukul yang digunakan untuk pengujian kuat kejut atau *impact* adalah 14 kg dan juga telah ditambahkan dengan setengah bola baja yang berada di bidang permukaan pemukul dengan tinggi jatuh ± 16 cm.

Yang dilakukan pertama kali saat pengujian kuat kejut adalah menyiapkan alat *impact* dan benda uji yang siap diuji. Selanjutnya diberikan tanda pada permukaan beton yang akan diuji menjadi 4 bagian. Pengujian dilakukan dua tahap yaitu saat penumbukan pertama hingga retak rambut dan penumbukan setelah retak rambut hingga runtuh total. Retak rambut dilihat secara visual menggunakan kaca pembesar sedangkan benda uji dikatakan runtuh total jika dua sisi bagian dari sampel mengalami retakan yang cukup besar. Alat yang digunakan untuk menguji kuat kejut adalah *Impact Testing Machine*.



Gambar 3.26. Pengujian kuat kejut atau *impact*.

3.6 Analisis Data

Uji kuat tarik lentur menurut SNI 4431: 2011 dengan rumus tegangan, yaitu:

- a) Daerah retakan terjadi di 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah, dapat dilihat sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots (3)$$

- b) Daerah retakan terjadi di luar 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah, dapat dilihat sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan penjelasan:

- σ_1 = kuat lentur benda uji (MPa)
- P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)
- L = jarak (bentang) antara 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 pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Uji kuat tekan dilakukan sesuai SNI 1974:2011. Kuat tekan beton diperoleh dengan rumus :

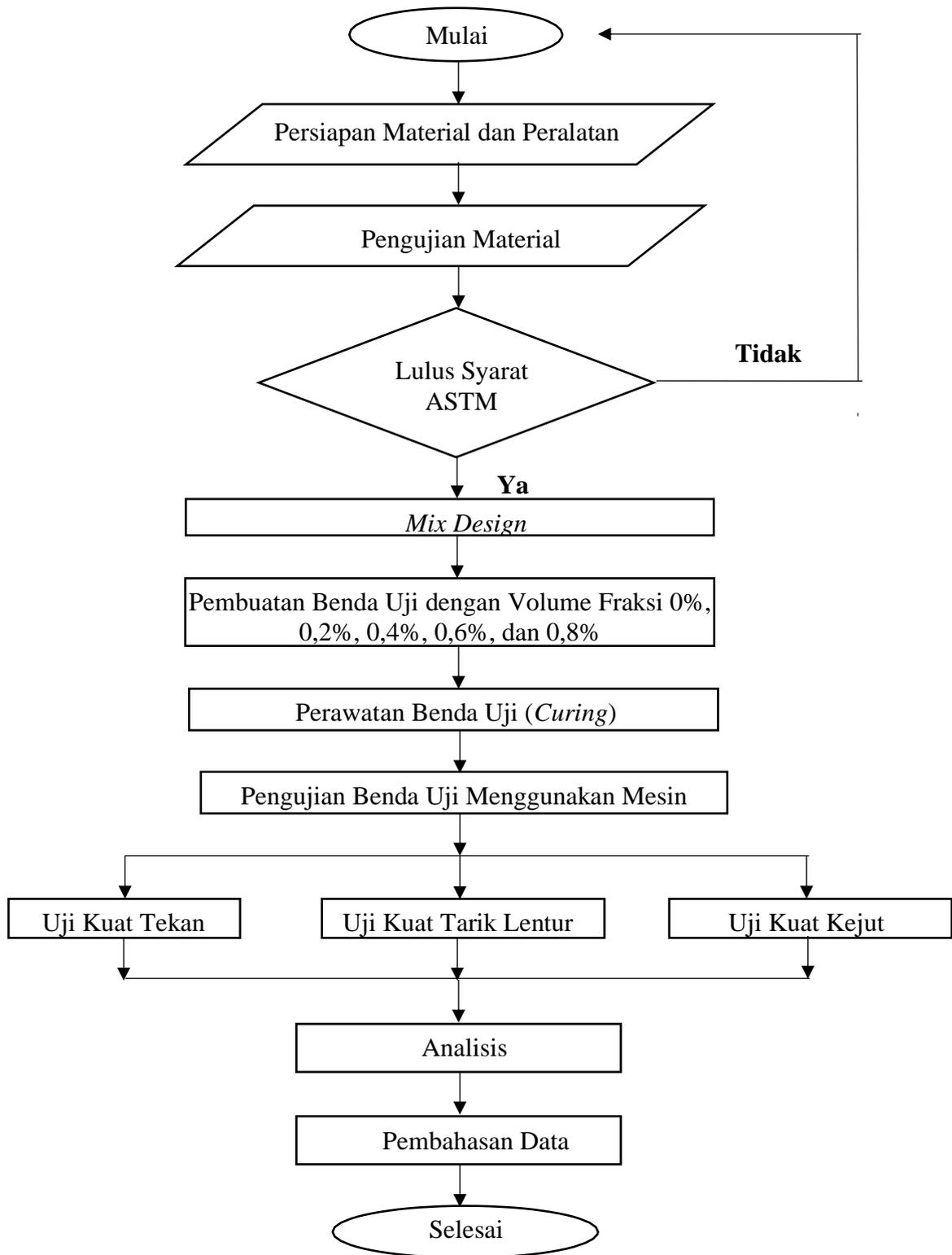
$$f_c' \text{ sampel} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

- f_c' = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas bidang tekan (mm²)

Data kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat kejut dianalisis menggunakan *Dixon Criteria* satuan ASTM E 178-02. Hasil kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat kejut diambil dari rata-rata data yang dapat diterima

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.27. Diagram alur prosedur penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian studi eksperimental ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *slump test* yang menggunakan serat mengalami penurunan setelah beton ditambahkan serat plastik hal ini disebabkan penambahan serat yang mengisi rongga pada beton yang berarti menurunkan kelecakan (*workability*).
2. Data yang dihasilkan yaitu nilai kuat kejut atau *impact*, kuat tekan, dan kuat tarik lentur tidak ada yang *outlier* atau melebihi kritis tingkat signifikansi (0,9410) sehingga data bisa digunakan.
3. Hasil pengujian kuat kejut atau *impact* beton pada energi serapan rata-rata saat mengalami retak pertama mendapatkan kekuatan optimum sebesar 266,52 Joule atau meningkat 100% pada volume fraksi 0,8% dibandingkan dengan beton tanpa serat sedangkan energi serapan rata-rata saat beton mengalami runtuh total memiliki kekuatan optimum sebesar 3316,67 Joule atau meningkat 522,222% pada volume fraksi 0,8% dibandingkan dengan beton tanpa serat.
4. Pada pengujian kuat tekan beton tambahan bahwa beton serat dengan volume fraksi 0,2% memiliki nilai kekuatan optimum dibandingkan dengan beton volume fraksi lainnya sebesar 24,49 MPa.
5. Hasil pengujian kuat tarik lentur beton mengalami kekuatan optimum pada volume fraksi 0,8% sebesar 5,78 MPa atau meningkat 48,57% dibandingkan dengan beton tanpa serat.
6. Dari hasil pengujian bahwa beton dengan volume fraksi 0,2% digunakan untuk pelat lantai, kolom, dan *rigid pavement* dikarenakan lebih kuat

terhadap beban kejut pada saat runtuh total, tekan, dan lentur dibandingkan beton tanpa serat sehingga sesuai dengan judul penelitian ini.

7. Penambahan serat plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dapat meningkatkan dan juga menurunkan pada nilai kuat kejut atau *impact*, kuat tekan, dan kuat tarik lentur.
8. Dalam pembuatan sampel silinder untuk pengujian kuat tekan bahwa tidak homogen.

5.2 Saran

Terdapat beberapa kekurangan dalam penelitian yang dilakukan, maka peneliti membagikan saran dalam penelitian selanjutnya untuk mengembangkan penelitian ini. Saran-saran yang dapat diberikan peneliti sebagai berikut:

1. Penggunaan serat plastik dengan volume fraksi yang berbeda.
2. Peningkatan ketelitian dalam penimbangan bahan karena sangat mempengaruhi kualitas beton tersebut.
3. Memperhatikan dalam proses pencampuran beton menggunakan mesin pengaduk atau *mixer* dan pemadatan beton menggunakan *vibrator* agar beton tercampur secara merata.
4. Penelitian selanjutnya dilakukan saat umur beton mencapai 56 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdo, A. M. A., & Jung, S. J. (2019) Evaluation of Enforcing Rigid Pavements With Plastic Waste Fibers. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (13), 2348-2355.
- ACI Committee 211, 1991. *Standard Practice for Selecting Proportion Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, ACI Journal 2002.1-38.
- ACI Committee 544, 1996. *Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI Journal 2002.1R-96.
- ACI Committee 544, 1999. *Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete*. ACI Journal 2002. 2R-89.
- Adianto, Y. L., & Basuki, T. (2004). Pengaruh Penambahan Serat Nylon Terhadap Kinerja Beton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 12(2), 1-12.
- ASTM C33, 2013. *Standard Specification for Concrete Aggregates*, United States.
- ASTM C39, 2014. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*, United States.
- ASTM C78, 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
- ASTM C496, 2004. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen*, United States.
- ASTM E178-02-2002, *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations*, United States.
- Billmeyer, W. F. (1994). *Textbook of Polymer Science 3rd Edition*, Jhon Wiley & Son, New York.

- Darwis, Z., Soelarso, S., & Faisal, T. A. (2014). Pemanfaatan Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pembuatan Beton. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(2), 123-131.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2007. *Perencanaan Oprit (Jalan Pendekat), Bangunan Pelengkap dan Pengaman Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Hannant, P.J. (1978). *Fibre Cements and Fibre Concretes* (No. Monograph).
- Hidayat, A.N. (2012). *Kajian Kuat Kejut (Impact) Beton Normal Berserat Galvalum AZ 150* (Skripsi). Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 54 p.
- Hidayatullah, S., & Kurniawandy, A. (2017). *Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Serat Pada Beton* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Imron, M. (2010). *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) Beton kertas Pada Variasi Campuran*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 46 p.
- Lasino, Rachman, D & Sugiharto, B (2012). Kajian Penggunaan Semen Portland Komposit Untuk Beton. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 2(2), 41-50.
- Mahendya, B. (2008). Penggunaan Limbah botol Plastik (PET) Sebagai Campuran Beton Untuk Meningkatkan Kapasitas Tarik Belah dan Geser. *Skripsi Teknik Sipil, Universitas Indonesia Jakarta*.
- Modesta Elsi, Zaidir. (2019). *Pengaruh Penggunaan Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Tambahan Serat Terhadap Kekuatan Beton* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Mulyono, Tri (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- Nataraja, M. C., Dhang, N & Gupta, A. P (1999), Statistical Variations in Impact Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight Test, *Cement and Concrete Research, Pergoman press, USA*, 29(7), 989- 995.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Modul 1 Konsep Dasar Dan Konstruksi Perkerasan Kaku*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.

- Pamuji, G., & Rahman, A. N. (2008). Pengaruh Pemakaian Bahan Tambah Limbah Plastik Kemasan Air Mineral Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Dinamika Rekayasa*, 4(1), 41-49.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5).
- Prianto, J.A. (2012). *Kajian Kuat Kejut (Impact) Beton Normal Dengan Bahan Tambah Metakaolin Dan Serat Galvalum AZ 150* (Skripsi). Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 78 p.
- Puro, P.K.H. (2019). *Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) dan LDPE (Low Density Polyethylene) Sebagai Bahan Tambahan Pembuatan Paving Block* (Skripsi). Universitas Negeri Semarang, Surakarta, 69 p.
- Purwanto, D. (2015). *Studi Pengaruh Volume Fraksi Serat Kawat Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur Beton Ringan* (Skripsi). Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, 93 p.
- Ramachandran, V.S (1984) *Concrete Admixtures Handbook : Properties, Science, and Technology*. Surabaya : Penerbit New Jersey B.
- Romualdi, J.P. & Batson, G.B (1963). Behaviour of reinforced cement concrete beams with closely spaced reinforcement, *Journal of the American Concrete Institute*, Proceedings 60(6), 775-789.
- SNI 03-4431-1997. Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6861.1-2002. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049-2004. Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-7964-2004. Semen Portland Komposit. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970-2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974-2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 2847-2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 4431-2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Duat Titik Pembebanan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 4810-2013. Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Spesimen Uji Beton Di Lapangan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soroushian, P., Bayasi,Z., 1987, *Concept of Fiber Reinforced Concrete*, Procceding of International Seminar on Fiber Reinforced Concrete, Michigan State University, USA.
- Sukirman, S (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Penerbit Nova.
- Swamy R.N. & Bahia H.M (1985), The Effectiveness of Steel Fibers as Shear Reinforcement. *Concrete International* 7: 35-40.
- Tjokrodimulyo, K (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Biro Penerbit.