

**PENGARUH *ASPECT RATIO* LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KUAT TARIK
LENTUR CAMPURAN *RIGID PAVEMENT*
(Skripsi)**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik



Oleh :

**THEO GIDEON MARPAUNG
1715011068**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH *ASPECT RATIO* LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KUAT TARIK LENTUR CAMPURAN *RIGID PAVEMENT*

Oleh

THEO GIDEON MARPAUNG

Perkerasan jalan yang berkualitas sangat dibutuhkan untuk menjamin keamanan dan kenyamanan bagi para pengguna jalan. Salah satu cara yang cukup efektif untuk mencegah terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan yaitu adanya penggunaan serat pada beton. Salah satunya adalah plastik, karena sifatnya yang kuat, ringan, mampu menahan tarik, fleksibel, dan tahan terhadap korosi. Penelitian ini bermaksud untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) terhadap kuat tarik lentur pada *rigid pavement*. Sehingga dapat diketahui pengaruh aspek rasio limbah botol plastik terhadap kuat tarik lentur pada perkerasan kaku.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan metode eksperimental yang terdapat dalam (ACI 211. 1-91) untuk *mix design*. Perencanaan mutu beton K300 dan kuat lentur (f_r)=3,8 MPa, dengan presentase volume campuran limbah botol plastik 0,25% dari volume beratnya, dan slump rencana 50-70 mm. Variasi rasio aspek limbah plastik yang dipakai adalah 53,41,35, dan 31. Dilakukan pengujian material pada agregat kasar dan agregat halus untuk mengetahui apakah agregat mencapai kondisi SSD sesuai dengan yang disyaratkan ASTM (*American Standard Test Method*), dan SNI. Benda uji pada penelitian ini berupa 6 (enam) sampel yaitu 3 (tiga) benda uji silinder dan 3 (tiga) benda uji balok. Setiap benda uji akan dilakukan pengujian setelah berumur 28 hari.

Hasil penelitian bahwa nilai slump mengalami penurunan dan nilai VB-time mengalami kenaikan waktu ketika telah dicampur serat, yang berarti menurunkan kelecakan (*workability*). Pada hasil kuat tekan beton mengalami kenaikan dengan aspek rasio 41 sebesar 31,27 MPa atau meningkat sebesar 30,26 % dari beton tanpa serat. Hasil kuat tarik lentur mengalami kenaikan paling optimum pada campuran dengan aspek rasio 35 sebesar 5,11 MPa atau meningkat sebesar 29,21% dari beton tanpa serat,

Kata kunci : *Rigid Pavement, polyethylene terephthalate, Aspect Ratio, Kuat Lentur*

ABSTRACT

THE IMPACT OF WASTE BOTTLE FIBER RATIO ON FLEXURAL STRENGTH IN RIGID PAVEMENT MISXTURES

By

THEO GIDEON MARPAUNG

Quality pavement is needed to ensure safety and comfort for road users. One of the most effective ways to prevent damage to the pavement is the use of fiber in the concrete. One of them is plastic, because it is strong, lightweight, able to withstand tensile, flexible, and resistant to corrosion. This study intends to analyze the effect of using polyethylene terephthalate plastic waste on the flexural tensile strength of rigid pavement. So that it can be seen the effect of the aspect ratio of plastic bottle waste on the flexural tensile strength of rigid pavements.

This research was conducted in a laboratory using the experimental method contained in (ACI 211.1-91) for the mix design. Design of K300 concrete quality and flexural strength (f_r) = 3,8 MPa, with a percentage of the volume of the plastic bottle waste mixture 0.25% of its weight volume, and the planned slump of 50-70 mm. Variations in the aspect ratio of plastic waste used were 53,41,35, and 31. Material testing was carried out on coarse aggregate and fine aggregate to determine whether the aggregate reached the SSD condition as required by ASTM (American Standard Test Method), and SNI. The test objects in this study were 6 (six) samples, namely 3 (three) cylindrical specimens and 3 (three) beams. Each specimen will be tested after 28 days.

The results showed that the slump value decreased and the VB-time value increased when fiber was mixed, which means it reduces workability. In the results, the compressive strength of concrete has increased with an aspect ratio of 41 by 31.27 MPa or an increase of 30.26% from concrete without fiber. The results of the flexural tensile strength experienced the most optimum increase in the mixture with an aspect ratio of 35 of 5.11 MPa or an increase of 29.21% of concrete without fiber,

Keyword : Rigid Pavement, polyethylene terephthalate, Aspect Ratio, Flexural Strength

**PENGARUH *ASPECT RATIO* LIMBAH BOTOL PLASTIK
TERHADAP KUAT TARIK LENTUR CAMPURAN *RIGID*
*PAVEMENT***

Oleh

THEO GIDEON MARPAUNG

Skripsi

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

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH ASPECT RATIO LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP KUAT TARIK LENTUR CAMPURAN RIGID PAVEMENT**

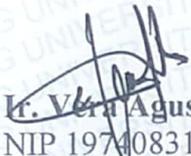
Nama Mahasiswa : **Theo Gideon Marpaung**

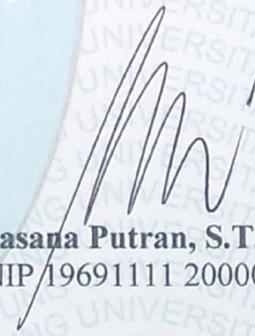
Nomor Pokok Mahasiswa : **1715011068**

Program Studi : **S1 Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**

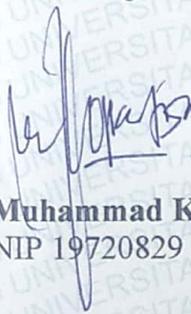


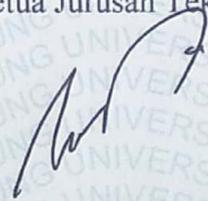

H. Vera Agustriana N., S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19740831 200003 2 002


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

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Ketua Jurusan Teknik Sipil,

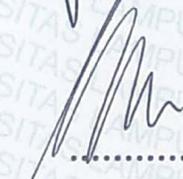

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

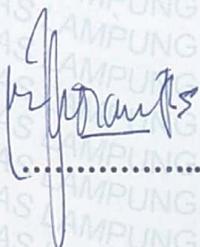

Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Vera Agustriana N., S.T., M.T., Ph.D.** 

Sekretaris : **Sasana Putra, S.T., M.T.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.** 

2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **11 Juli 2023**

PERSEMBAHAN

Puji Syukur yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yesus Kristus, atas Anugerah serta Karunia yang selalu diberikan, yang selalu memberikan kekuatan serta menunjukkan jalan terbaik untuk menyelesaikan semua ini.

Ku persembahkan setulus hati kepada:

Bapak dan Mamak ku Tercinta

Terima kasih atas dukungan dan kasih sayang yang tidak pernah putus untuk anakmu. Terima kasih untuk selalu memberikan kepercayaan atas apa yang anakmu lakukan sehingga dapat menyelesaikan skripsi tercinta. Ini hanyalah sebuah karya kecil yang tidak bisa dibandingkan dengan pengorbanan dan kerja keras Bapak Mamak selama ini. Panjang umur Bapak dan Mamak, Tuhan Yesus Memberkati Bapak Mamak .

Uwak Tiur Howard L. Tobing ku Tersayang

Terimakasih uwak untuk dukungan moral dan materil yang tidak terbatas selama penulis menyelesaikan kuliah.

Kakak ku Tersayang

Terima kasih kepada Kak Sarah Holland yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Adek ku Tersayang

Terima Kasih kepada Jordan yang selalu memberikan pecutan dan semangat untuk penulis 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, Tuhan Memberkati Bapak dan Ibu Sekalian.

Angkatanku 2017 Tercinta yang Sangat Luar Biasa

Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“TUHAN adalah gembalaku, takkan kekurangan aku. Ia membaringkan aku di padang yang berumput hijau, Ia membimbing aku ke air yang tenang; Ia menyegarkan jiwaku. Ia menuntun aku di jalan yang benar oleh karena nama-Nya. Sekalipun aku berjalan dalam lembah kekelaman, aku tidak takut bahaya, sebab Engkau besertaku.”

(Mazmur 23 : 1-4)

“dan ampunilah kesalahan kami, seperti kami juga mengampuni orang yang bersalah kepada kami”

(Matius 9:12)

***“We are not now that strength which in old days
Moved earth and Heaven, that which we are, we
are. One equal temper of heroic hearts, Made
weak by time and fate, but strong in will to strive, to
seek, to find, and not to yield ”***

(Lord Tennyson)

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus karena atas berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh *Aspect Ratio* Limbah Botol Plastik Terhadap Kuat Tarik Lentur Campuran *Rigid Pavement*” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak dan Mamak tercinta, Parulian Marpaung dan Juli Theodora L. Tobing. Terima kasih atas segala doa, cinta dan kasih sayang, dukungan dan semangat serta perhatian dan kepercayaan yang selalu diberikan yang tidak akan mampu penulis balas segala jasa dan kebaikannya sampai kapanpun. Semoga Tuhan Yesus Kristus selalu memberikan perlindungan, kesehatan, kasih sayang, umur panjang dan berkat sebagai balasan atas segala jasa dan kebaikan Bapak dan Mamak tercinta.
2. Uwak Tiur Howard L. Tobing, yang selalu memberikan bantuan semangat moral dan materil kepada penulis dalam menyelesaikan kuliah penulis. Semoga Tuhan Yesus Kristus memberikan berkat kesehatan, umur panjang, dan berkat yang melimpah atas kepada uwak tercinta

3. Kakak tersayang, Easter Sarah Anju Holland Marpaung yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Adik tersayang, Jordan Petra Marpaung yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
5. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T. M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Ibu Ir. Laksmu Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Serta selaku dosen penguji penulis. yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan bapak akan selalu membawa keberkahan.
8. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku pembimbing pertama penulis. Terima kasih atas ilmu, masukan, ide serta saran yang sangat membangun terutama dalam proses menyelesaikan skripsi ini, terima kasih juga atas kebaikan serta segala pengertian dan kesabaran selama proses menyusun tulisan ini. Semoga segala kebaikan ibu akan selalu membawa keberkahan bagi Ibu dan keluarga.
9. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang selalu memberikan ilmu, masukan, arahan yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga

segala kebaikan bapak akan selalu membawa keberkahan bagi Bapak dan Keluarga.

10. Seluruh dosen Prodi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan. Serta staf akademisi, khususnya mbak Suci Auliadiningrum.
11. Tim *Rigid* Lab Bahan dan Konstruksi , Evanthe Calosa kapten tim *Rigid* yang senantiasa mendukung penulis dalam berbagai hal pengerjaan skripsi ini. Ilham Mangesti Aji, sahabat penulis sejak awal perkuliahan yang selalu memberikan masukan kepada penulis. M. Dzaky Abiyyu, pelawak yang berkedok menjadi mahasiswa terima kasih karena telah selalu memeriahkan suasana di lab pada saat penelitian dilaksanakan. Semoga kita semua senantiasa berbahagia dengan jalan dan pilihan hidup masing – masing kedepannya. Tuhan Memberkati.
12. Sahabat-sahabat seperjuangan sejak zaman maba sampai penulis menyelesaikan skripsi ini: Ilham Fajar, Aleks, Aldo, Ardo, Goentur, Cahyo, Fahrizal, Indra, Ardi, Bara, Regina, Gerry, Dimas, Cen, Rama, Alfarabi, Orista, Mutiara, Aldi, Goldy yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan skripsi.
13. Sylvia, Ami, Corry, Netta, Damas, tim yang telah membantu penulis dalam pembuatan sampel di Lab Jalan Raya.
14. Kawan-kawan angkatan 2017 tercinta yang telah sama-sama berjuang, maaf tidak bisa menyebutkan satu-persatu. Terima kasih atas segalanya selama 5 tahun masa kuliah ini. Semoga kita semua akan selalu diberikan berkat, kebahagiaan, serta kesuksesan dalam berkarir nanti.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 11 Juli 2023

Theo Gideon Marpaung

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	7
2.2 Bahan Penyusun <i>Rigid Pavement</i>	9
2.3 Plastik.....	15
2.4 Konsep Beton Serat.....	16
2.5 Mekanisme Kerja Serat.....	18
2.6 Landasan Teori.....	20
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Umum.....	25
3.2 Metode Eksperimen....	25
3.3 Bahan.....	27
3.4 Peralatan.....	29
3.5 Persiapan Serat PET	31
3.6 Perhitungan Aspek Rasio	31

3.7	Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.8	Diagram Alir Penelitian	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Umum.....	42
4.2	Pelaksanaan Campuran Beton.....	42
4.3	Keleccakan.....	43
4.4	Berat Volume Beton.....	45
4.5	Kuat Tekan Beton	48
4.6	Kuat Tarik Lentur Beton	53
4.7	Korelasi Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur.....	57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Benda Uji Kuat Tekan Beton (Silinder)	21
Gambar 2.2. Balok Sederhana yang Dibebeani Gaya $p/2$	23
Gambar 2.3. Diagram Lintang . Geser	24
Gambar 2.4. Diagram Momen Lentur.....	24
Gambar 3.1. Pelaksanaan Pengecoran Untuk Setiap Rasio Ukuran Serat Plastik	39
Gambar 3.2. Diagram Alur Pelaksanaan.....	41
Gambar 4.1 Pelaksanaan Pengecoran Untuk Setiap Rasio Ukuran	42
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Nilai Rasio Ukuran Serat Plastik PET dan nilai slump	44
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Rasio Ukuran Serat Plastik PET dan Nilai <i>VB-time</i>	44
Gambar 4.4 Tipe Pola Retak ASTM C39/C 39M – 05	48

Gambar 4.5 Tipe Pola Retak yang Terjadi pada Benda Uji Silinder Tanpa Serat dan Dengan Serat Akibat Beban yang Dikenakan	48
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kuat Tekan Terhadap Serat Plastik.....	52
Gambar 4.7 Tipe Retak yang Terjadi Pada Balok Akibat Beban yang Dikenakan	53
Gambar 4.8 Grafik Beban Beton Untuk Kuat Tarik Lentur Pada Usia 28 Hari .	56
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Korelasi Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Pada Usia 28 Hari	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Beberapa Jenus Beton Menurut Kuat Tekannya.....	9
Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji Silinder dan Kode Benda Uji	26
Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji Balok dan Kode Benda Uji	26
Tabel 3.3. Nilai <i>Equivalent Diameter</i> dan Aspek Rasio	32
Tabel 3.4. Hasil Pemeriksaan Pengujian Material Penyusun Beton	34
Tabel 3.5. Komposisi Kebutuhan Material Per m ³ Beton Serat Plastik PET...	36
Tabel 4.1. Nilai <i>Slump</i> dan <i>VB-time</i> Beton Serat	43
Tabel 4.2. Tabel Berat Volume Benda Uji Silinder Dengan Campuran Serat Plastik PET	47
Tabel 4.3. Tabel Berat Volume Benda Uji Balok Dengan Campuran Serat Plastik PET	47
Tabel 4.4. Data Hasil Uji Kuat Tekan <i>Dixon Criteria</i>	50
Tabel 4.5. Hasil Pengolahan Data Berdasarkan Kuat Tekan Rata-Rata	51

Tabel 4.6. Data Hasil Uji Kuat Lentur <i>Dixon Criteria</i>	54
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Usia 28 Hari Beton Serat Limbah PET	55
Tabel 4.8. Perbandingan Hasil Perhitungan Korelasi Kuat Tekan dan Kuat Lentur	58

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin banyaknya proyek konstruksi, permintaan material bahan bangunan semakin tinggi juga. Oleh karenanya dibutuhkan terobosan untuk mencari bahan material pengganti. Seiring dengan meningkatnya sampah di seluruh dunia, bahan alternatif (yaitu, bahan daur ulang) terus diselidiki dan digunakan dalam proyek konstruksi (Angelone, 2016).

Akhir-akhir ini, lebih banyak atensi untuk melestarikan sumber daya alam dan untuk mengurangi dampak lingkungan, sehingga dibutuhkan lebih banyak perhatian pada penggunaan bahan daur ulang dalam industri perkerasan jalan (Abdo dan Khater, 2018).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi efek dari menggabungkan limbah daur ulang dalam proyek konstruksi perkerasan dengan penekanan pada penggunaan bahan limbah plastik (Kumari and Srivastava, 2016; Chavan, 2013; Molenaar, 2012; Abdo dan Khater, 2018). Akan tetapi, banyak kekhawatiran muncul ketika bahan limbah dimasukkan dalam bahan konstruksi, terutama dalam campuran beton *Portland Cement Concrete* (PCC), karena efek penambahan

bahan yang lebih lemah sehingga menimbulkan dugaan hilangnya ikatan antara agregat dan pasta semen, yang menyebabkan pengurangan kekuatan.

Malkapur dkk. (2014) menyelidiki sifat mekanik campuran beton dicampur dengan sampah plastik sebagai pengganti sebagian (10–30% menurut volume) dari agregat kasar. Hasil ini menunjukkan campuran memuaskan dalam hal *workability*. Namun, dengan meningkatnya kandungan sampah plastik dapat mengakibatkan campuran beton kehilangan kekuatan tekan dan tarik yang konsisten. Lain penelitian menunjukkan hilangnya kemampuan kerja saat menambahkan plastik limbah ke campuran beton (Al-Tayeb dkk., 2017; Hama dkk., 2017; Guendouz dkk., 2016).

Namun, kekuatan campuran beton adalah faktor yang paling penting dalam desain. Hama dkk. (2017) menemukan bahwa kuat tekan pada 28 hari menurun dengan meningkatnya sampah plastik, meskipun perbedaannya tidak signifikan antara 0 dan 10%. Kumar dkk. (2014) meneliti kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah beton campuran yang mengandung pengganti sebagian agregat kasar dengan limbah plastik berdasarkan persentase berat 0, 5, 10, 15 dan 20%. Semua kekuatan menurun dengan meningkatnya persentase plastik penggantian. Hasil ini sesuai dengan penelitian lain (Al-Tayeb, 2017; Ghernouti et al., 2014).

Di sisi lain, penelitian lain menunjukkan penggabungan serat limbah di campuran beton PCC dapat meningkatkan kekuatan properti. Guendouz dkk. (2016) berpendapat bahwa tergantung pada jenis plastik tertentu, kompresi yang lebih

tinggi dan kekuatan lentur dapat diamati (misalnya, sekitar 25% peningkatan kuat tekan untuk 1,5% dari botol PET serat plastik ditambahkan ke campuran beton dan 25% kekuatan lentur peningkatan 1% serat plastik botol PET yang ditambahkan ke campuran beton PCC.

Foti (2011) mengevaluasi efeknya dengan menambahkan plastik limbah serat pada beton bertulang, hasilnya diilustrasikan bahwa daktilitas campuran beton ditingkatkan. Nibudey dkk. (2013) menggunakan botol PET bekas sebagai serat dalam beton campuran, dengan dua aspek rasio 30 dan 50 serat sampah plastik. Dilaporkan bahwa pengurangan kemerosotan, faktor pemadatan dan kepadatan kering beton ketika serat konten meningkat dan pengurangan nilai-nilai ini ditemukan lebih tinggi untuk nilai rasio aspek yang lebih besar. Mereka menyimpulkan bahwa kuat tekan, tarik belah, dan kuat lentur ditingkatkan dengan 1% dari kandungan serat sampah plastik.

Saat mengulas studi yang dilakukan tentang evaluasi penambahan sampah plastik ke dalam campuran beton, sudah jelas bahwa sebagian besar penelitian dilakukan dengan persentase sampah plastik yang ditambahkan ke dalam campuran beton dengan volume yang tinggi (misalnya, 5%, 10%, 20%, dan lebih tinggi), yang mengarah pada efek yang tidak diinginkan pada campuran beton. Akan tetapi pengaruh aspek rasio serat dalam penambahan bahan daur ulang juga harus diselidiki untuk bisa menemukan aspek rasio yang baik agar dapat memaksimalkan pemanfaatan limbah daur ulang.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh *Aspect Ratio* Limbah Botol Plastik Terhadap Kuat Tarik Lentur Campuran *Rigid Pavement*”

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka dapat diambil rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh *aspect ratio* serat limbah botol plastik terhadap nilai kuat tekan,dan kuat lentur pada campuran *Rigid Pavement* ?

1.3 Batasan Penelitian

Dalam mengerjakan Tugas Akhir ini penulis mempertimbangkan luasnya faktor-faktor yang sangat berpengaruh dalam penelitian, yaitu menggunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Lampung.
2. Beton yang akan diuji adalah beton dengan mutu normal dalam perencanaan yaitu 25 MPa.
3. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 28 hari.
4. Benda uji yang akan di gunakan adalah berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dan juga berbentuk balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm.

5. Ukuran limbah plastik yang akan ditambahkan kedalam campuran beton, berukuran $\mathcal{P} \times \ell = 40 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, $40 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, $40 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$, $40 \times 9 \text{ mm}$, dengan masing masing ketebalan serat adalah 1 mm.
6. Volume serat limbah plastik yang akan ditambahkan ke setiap benda uji adalah 0,25% dengan rincian 46,575 gram serat untuk benda uji balok, dan 18,2806 gram untuk benda uji silinder.
7. Tata cara pengujian material dilakukan berdasarkan ASTM dan tata cara pengujian benda uji berdasarkan SNI.
8. Perhitungan campuran beton menggunakan metode ACI 211. 1991.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh aspek rasio serat limbah botol plastik terhadap nilai kuat lentur dan kuat tarik campuran beton.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi pemakaian agregat alami dan dapat mengurangi banyaknya limbah plastik yang tidak terurai
2. Memberikan informasi nilai kuat lentur dan kuat tarik campuran limbah botol plastik dengan aspek rasio serat yang berbeda terhadap campuran beton.

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, batasan masalah, manfaat, 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. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Jalan merupakan infrastruktur yang menghubungkan satu daerah dengan daerah lain yang sangat penting dalam sistem pelayanan masyarakat. Sejak tahun 1985, perkerasan jalan beton atau perkerasan jalan kaku mulai diaplikasikan di Indonesia, dengan membangun jalan - jalan beton di beberapa kota di Indonesia (Kementerian PUPR, 2017). Perkerasan kaku (*rigid pavement*) 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).

Peningkatan pembangunan perkerasan kaku di Indonesia terus bertambah dengan cepat, baik untuk jalan tol, jalan propinsi, jalan nasional, jalan kota bahkan sampai ke jalan - jalan perumahan. Hal ini terjadi dikarenakan *rigid pavement* memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan perkerasan lentur. Wiwitadinugroho (2013) memberikan ulasan tentang beberapa keunggulan perkerasan kaku (*rigid pavement*) diantaranya :

- a. Dapat menahan beban kendaraan yang berat.
- b. Tahan terhadap genangan air dan banjir.
- c. Biaya perawatan yang lebih murah dibandingkan dengan jalan aspal
- d. Dapat digunakan pada struktur tanah lemah tanpa perbaikan struktur tanahnya terlebih dahulu.
- e. Pengadaan material mudah didapat.

Ada jenis perkerasan kaku yang dikenal ada 5, yaitu (Kementerian PUPR, 2017):

1. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau “*jointed unreinforced (plain) concrete pavement*” (JPCP)
2. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau “*jointed reinforced concrete pavement*” (JRCP)
3. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau “*continuously reinforced concrete pavement*” (CRCP)
4. Perkerasan beton semen 'prategang' atau “*prestressed concrete pavement*”
5. Perkerasan beton semen pracetak (dengan dan tanpa prategang)

Secara umum persyaratan untuk mutu beton perkerasan kaku dan pekerjaan struktur relatif sama, akan tetapi ada beberapa persyaratan tambahan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan jenis konstruksi. Yang menjadi pembeda dengan konstruksi lain adalah dalam perhitungan kekuatan beton. Apabila konstruksi lain sebagai dasar perhitungannya adalah kuat tekan, sedangkan konstruksi perkerasan kaku adalah kuat tarik lentur beton.

2.2. Bahan Penyusun *Rigid Pavement*

Dalam pembuatan *rigid pavement*, beton merupakan bagian utamanya. Beton sendiri adalah campuran semen *portland* atau semen hidraulik, agregat kasar, agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI 2847, 2013).

Beton sendiri memiliki sifat sifat yang perlu kita ketahui antara lain:

a. Berat Jenis

Berat jenis beton berasal dari perbandingan massa dan volumenya.

Umumnya beton memiliki berat jenis 2200 – 2400 kg/m³,

b. Kuat tekan

Kuat tekan beton ditentukan melalui pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan MPa (N/mm²) untuk SKSNI 91 dan standar ACI. Beton sendiri mencapai kuat tekan maksimum pada umur 28 hari setelah dicetak

Tabel 2.1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15 – 30 MPa
Beton pra tegang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

c. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan (*durability*) beton terdiri dari beberapa faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. Beberapa hal itu dapat menghasilkan beton yang memberikan kelecakan (*workability*) dan konsistensi dalam pengerjaan beton, ketahanan terhadap korosi lingkungan khusus (kedap air, korosif, dll) dan dapat memenuhi uji kuat tekan yang direncanakan (Dipohusodo, 1994). Sejalan dengan penelitian sebelumnya, disebutkan bahwa pengalaman yang luas menunjukkan bahwa daya tahan struktur beton tidak hanya terkait dengan desain dan material tetapi juga pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi beton dan kualitas konstruksi yang dicapai (Odd E. Gjrv, 2011).

d. Kuat tarik

Kuat tarik adalah sifat yang penting untuk menahan retak, terutama yang diakibatkan oleh pemuaian akibat dari peningkatan temperatur dan perubahan yang dinamis antara tekan dan tarik pada beton, seperti pada kondisi perkerasan kaku jalan. Kuat tarik beton hanya berkisar 9-15% dari kuat tekannya, sehingga dalam perencanaan kuat tarik dianggap nol (Dipohusodo, 1994). Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan *fiber* pada adukan beton akan meningkatkan kuat tarik beton

sehingga mampu lebih baik menahan retak yang terjadi akibat adanya tegangan tarik.

Hasil penelitian yang dilakukan Hidayatullah (2017), dengan menggunakan benda uji 15 cm x 15 cm x 60 cm dan persentasi penambahan serat 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1% dari berat volumenya, mendapatkan hasil bahwa pengaruh penambahan serat kulit bambu terhadap sifat mekanik beton tertinggi pada penambahan 0,6% pada kuat tarik lentur beton yaitu sebesar 42,86% dari beton tanpa serat..

Pada penelitian Risky, dkk., 2017, dengan menggunakan benda uji silinder 30 cm x 15 cm sebanyak 20 benda uji dan persentasi penambahan serat 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% dari berat volumenya; mendapatkan hasil bahwa pengaruh penambahan serat kulit kayu pinang dan sebuk kayu terhadap kuat tarik lentur beton tertinggi pada penambahan 0,25% dari berat volume. Hal ini menunjukkan terjadi kenaikan pada kekuatannya sebesar 12,272% dari beton tanpa serat. Kuat tarik beton merupakan sifat penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok.

e. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton. Menurut SNI 2847:2019, perhitungan struktur nilai modulus elastisitas dapat diambil sebagai berikut:

$$E_c = W_c^{1.5} \cdot 0,043\sqrt{f_c} \quad (\text{untuk } W_c \text{ antara } 1440 \text{ dan } 2560 \text{ kg/m}^3)$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \quad (\text{untuk beton normal})$$

Dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat jenis beton

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

- f. Creep Rangkak atau creep merupakan kejadian dimana beton mengalami deformasi secara terus menerus menurut waktu akibat beban yang dipikul.
- g. Susut (shrinkage) Susut atau *shrinkage* merupakan perubahan volume yang dialami beton yang tidak berkaitan dengan beban yang dipikul.

Beton sendiri terdiri dari campuran beberapa bahan diantaranya :

a. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi beton. Agregat ini kira kira menempati sebanyak 70% - 80% dari volume beton.

Cara membedakan jenis agregat yang paling sering dilakukan ialah berdasarkan pada ukuran butir - butirnya. Agregat yang ukuran butir lebih kecil disebut agregat halus. Sebagai pembatas ukuran butir agregat kasar dengan

diameter 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang diameternya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus.

Secara umum, agregat kasar sering disebut dengan kerikil, batu pecah, atau *split*. Sedangkan agregat halus disebut pasir, bisa berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu.

b. Semen

Umumnya ada dua jenis semen, yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah semen yang akan mengeras bila bereaksi dengan air, tahan terhadap air dan stabil di dalam air setelah mengeras. Sedangkan untuk semen non-hidrolis adalah semen yang dapat mengeras tapi tidak stabil dalam air. (Nugroho, dkk, 2007). Semen *Portland* merupakan jenis semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker dengan bahan utama terdiri dari silikat silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah.

Pada penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti, jenis semen yang akan digunakan adalah semen PCC (*Portland Composite Cement*). Semen PCC sendiri banyak digunakan sebagai bahan pengikat untuk konstruksi beton umum, pasangan batu bata, beton pra cetak, dan sebagainya. Karakteristik semen PCC adalah lebih mudah dikerjakan, kedap air, tahan sulfat, dan tidak

mudah retak. Semen PCC ini terdiri dari beberapa unsur diantaranya terak, gypsum, dan bahan anorganik.

c. Air

Air adalah bahan yang diperlukan dalam proses reaksi kimia dengan semen, sehingga akan diperoleh pasta semen. Air juga diperlukan sebagai pelumas antar butiran dalam agregat agar mudah saat pengerjaan dan pada saat pemadatan. Air yang digunakan untuk adukan beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Kardiyono, 1996) :

1. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/lt,
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton misalnya asam, zat organik dan sebagainya lebih dari 15 gr/lt,
3. Tidak mengandung zat Chlorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lt,
4. Tidak mengandung senyawa asam Sulfat lebih dari 1 gr/lt.

Akan tetapi pemakaian air dalam adukan beton tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton yang dihasilkan akan menjadi rendah serta beton akan porous. Kelebihan air akan mengakibatkan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang ("*bleeding*"), sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan lekatan beton. Untuk itu,

penggunaan air harus diperhitungkan dengan teliti agar kekuatan beton tidak berkurang dan tetap mudah dalam pengerjaan.

d. Serat (*Fiber*)

ACI *Committee* 544, 1982, mengklasifikasikan tipe serat secara umum sebagai perkuatan beton, yaitu antara lain:

- a. SFRC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
- b. GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
- c. SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
- d. NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*)

2.3. Plastik

Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat yang unik. Polimer adalah bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer (Mujiarto, 2005).

Plastik sendiri merupakan hasil dari penemuan manusia yang paling banyak digunakan hingga saat ini. Plastik digunakan dalam skala besar dalam produksi seperti botol minuman, peralatan bayi, wadah untuk makanan, botol sampo, kantong plastik, alat makanan, dan masih banyak lagi hasil dari produksi plastik.

Plastik memiliki berbagai sifat yang menguntungkan diantaranya:

- a. Umumnya kuat namun ringan
- b. Secara kimia stabil (tidak bereaksi dengan udara, air, asam, alkali dan berbagai zat lainnya)
- c. merupakan isolator listrik yang baik

- d. mudah dibentuk
- e. biasanya transparan dan jernih
- f. Fleksibel / plastis
- g. Harganya relatif murah

Plastik dapat dikelompokkan jadi dua golongan yaitu plastik termoplast dan plastik thermoset. Plastik termoplast merupakan plastik yang dapat dicetak berulang-ulang, sebagai contoh : PP (*Polypropylene*), PE, ABS (*Acrylonitrile Butadine Styrene*), nylon, PET (*Polyethylene Perekphalatae*), BPT, Polyacetal (POM), PC dll. Sedangkan plastik thermoset merupakan plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak bisa dicetak Kembali, sebagai contoh : UF (*Urea Formaldehyde*), MF (*Melamine Formaldehyde*), PU (*Poly Urethene*), MF (*Melamine Formaldehyde*), polyester, epoksi dll. Pada penelitian yang akan dilaksanakan, penulis memakai jenis serat PET (*Polyethylene Perekphalatae*) dengan berat jenis $1,38\text{gr/cm}^3$.

2.4. Konsep Beton serat

Terdapat dua istilah yang sering digunakan dalam pemakaian beton serat, hal ini bertujuan untuk memudahkan perencanaan dan pengenalan kuantitas dan kualitas yang dihasilkan

a. *Fiber volume*

Fiber volume adalah presentase dari volume serat (*Fiber*) diseluruh volume beton yang diperkuat serat. Dalam pelaksanaannya, presentase yang digunakan adalah berat seratnya yang dapat diketahui dari berat jenis serat tersebut Umumnya semakin besar fiber volume (V_f) akan meninnggikan kualitas beton. Selain itu V_f juga memengaruhi *workability* adukan beton searat.

b. *Fiber Aspect Ratio (l/d)*

Fiber aspect ratio merupakan rasio antara panjang serat (l) dan diameter serat (d). Rasio perbandingan panjang dan diameter juga akan memengaruhi kekuatan beton serat dan workabilitasnya. Dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis, penggunaan *fiber aspect ratio* merupakan tujuan utama untuk mengukur perbedaanya pada benda uji. Batas maksimal aspek ratio serat yang masih memungkinkan pengadukan dapat secara mudah dilakukan adalah ($l_f/d_f < 100$) dengan l_f adalah panjang serat dan d_f adalah diameter serat. Aspek ratio yang tinggi dapat menyebabkan kecenderungan serat menggumpal (*balling effect*) dan sulit menyebar merata (Sudarmoko, 1991. dalam penelitian Nugraheni 2017).

Hal yang harus di perhatikan untuk penggunaan serat sebagai bahan tambahan dalam campuran beton adalah aspek rasio serat. Menurut ACI *Committee 544* (2002) tentang *State of the Art Report on Fiber Reinforced*

Concrete, aspek rasio serat adalah perbandingan antara panjang dan diameter dari serat itu sendiri, dimana ekuivalen diameter juga dapat digunakan. Dari sumber tersebut juga, dijelaskan *equivalent diameter* adalah diameter sebuah lingkaran yang memiliki luas yang sama dengan penampang melintang dari serat.

Untuk mendapatkan nilai dari aspek rasio serat dengan bentuk pipih, maka penampang melintang serat yang berbentuk persegi akan diekuivalensikan menjadi berbentuk lingkaran. Nilai *equivalent diameter* didapat melalui perbandingan luas antara luas lingkaran serat dengan luas penampang melintang serat yang berbentuk persegi dengan persamaan:

Luas lingkaran = Luas penampang melintang serat

$$0,25 \times \pi \times d^2 = l \times t$$

Dengan:

$$\pi = 3,14$$

d = diameter serat

l = lebar serat

t = tebal serat

2.5. Mekanisme kerja serat

Menurut Soroushian, dkk., 1987, teori yang dipakai sebagai pendekatan untuk menjelaskan mekanisme kerja serat yaitu:

a. *Spacing concept*

Spacing concept dalam teori ini dapat diartikan dengan mendekatkan jarak antar serat dalam campuran beton sehingga beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar.

b. *Composite material concept*

Composite material concept atau konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer yang memperkirakan kuat tarik maupun kuat lentur dan beton serat. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama. Dalam konsep ini diasumsikan bahwa penyusun saling melekat sempurna, bentuk serat menerus, dan angka *poisson* dari material dianggap nol

Serat yang digunakan dalam beton serat adalah ukuran pendek / *short fiber* dan bukan *continuous fiber*, maka perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan – pertimbangan berikut :

- a. Orientasi dari short fiber yang *random* akan mengurangi efisiensi penulangan serat terhadap material komposit.
- b. Lekatan yang tidak sempurna serta ukuran serat yang pendek dapat menyebabkan adanya alur retakan yang tidak melewati serat.
- c. Distribusi alur retakan yang sembarang menyebabkan alur retak tidak selalu memotong serat tepat di tengah – tengah.

- d. Efektifitas beton dapat menahan tarik pada saat timbul retak.

Salah satu cara pengatasi agar serat lebih tersebar merata adalah dengan memperkecil ukuran maksimum agregat (Nugraheni, 2017).

ACI *Committee*, 1982, mengisyaratkan ukuran maksimum agregat sebesar 19 mm.

Hal itu untuk memudahkan pengadukan dan tersedianya ruang untuk serat.

2.6. Landasan teori

- a. Kuat tekan beton serat

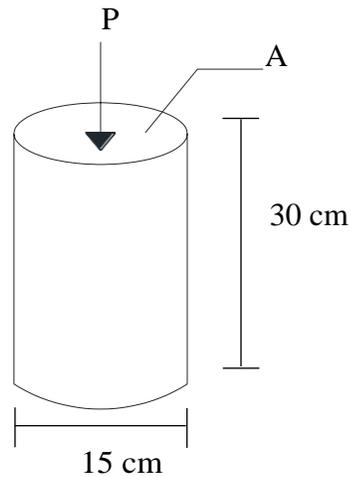
Pengujian kuat tekan beton pada dasarnya adalah besarnya beban per satuan luas, yang mengakibatkan beton benda uji hancur apabila dibebani dengan gaya tekan melalui mesin tekan pada saat uji coba (SNI 03-1974-1990). Untuk Pengujiannya sendiri, uji tekan beton memakai benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm (Purwanto, 1999)

Kuat tekan beton dicari dengan rumus :

$$f'_{cf} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

- f'_{cf} = Kuat tekan beton/beton serat (MPa)
 P = Beban tekan maksimum (N)
 A = Luas penampang silinder = $\frac{1}{4} \pi D^2$ (mm²)



Gambar 2.1. Benda Uji Kuat Tekan Beton (Silinder)

b. Kuat tarik lentur beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah (SNI 03-4431-1997). Uji kuat lentur beton dilakukan pada benda uji berbentuk balok beton dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm.

Kuat lentur batas (*ultimate flexure strength*) beton atau disebut juga modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) adalah beban maksimum yang tercapai selama pembebanan. Menurut ASTM C 78-94 nilai modulus keruntuhan dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

1. Bila retak terjadi di 1/3 bentang bagian tengah, modulus keruntuhan dapat dilihat dengan persamaan:

$$\sigma_1 = \frac{P l}{b d^2} \dots\dots\dots(2)$$

2. Bila retak terjadi di luar 1/3 bentang tengah, modulus keruntuhan dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_1 = \frac{P a}{b d^2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- σ_1 = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- l = Bentang balok (mm)
- b = Lebar rata-rata benda uji (mm)
- d = Tinggi rata-rata benda uji (mm)
- a = Jarak rata-rata antara garis retak dan tumpuan terdekat pada permukaan tarik balok (mm)

Kuat lentur dapat diteliti dengan membebani balok pada tengah-tengah bentang atau pada setiap sepertiga bentang dengan beban titik $\frac{1}{2}$ P. Beban ditingkatkan sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi terletak pada sekitar tengah-tengah bentang. Secara sederhana, balok beton digambarkan sebagai struktur *simple beam* dengan beban terpusat masing-masing $\frac{1}{2}$ P. Besarnya momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimum dari mesin pembebanan dan berat sendiri dari benda uji. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Pada *simple beam* ini juga terdapat gaya geser atau lintang. Gaya geser merupakan gaya yang arahnya tegak lurus dengan batang, karena pada bentang 1/3 bagian tengah terjadi momen murni maka

pada bentang tersebut tidak ada gaya geser atau lintang. Dapat dicari dengan persamaan:

Untuk 1/3 bentang dari tumpuan

$$D = \frac{1}{2}P \dots\dots\dots(4)$$

Untuk 1/3 bentang bagian tengah

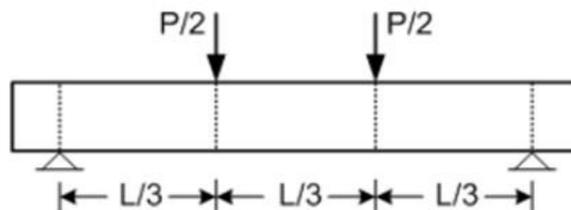
$$D = 0 \dots\dots\dots(5)$$

Dengan pembebanan pada balok beton dengan tumpuan sederhana dan besarnya beban masing-masing adalah $\frac{1}{2} P$, maka momen maksimum pada balok beton sederhana ini terjadi pada 1/3 bagian tengah bentang, dengan persamaan:

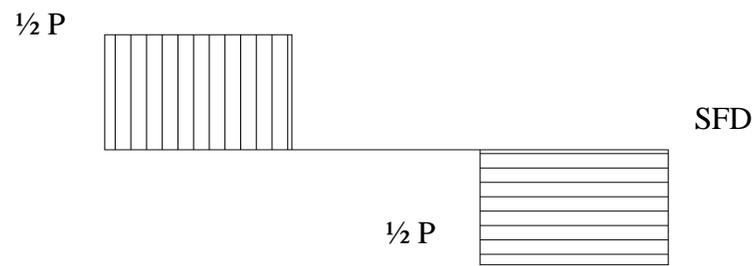
$$M = \frac{1}{6} PL \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

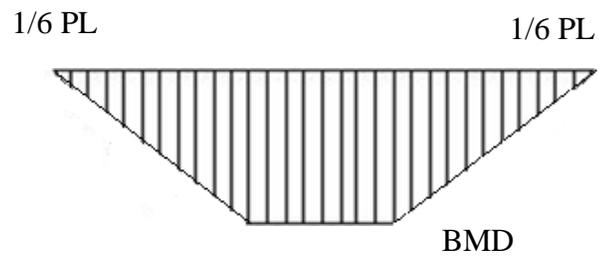
- M = Momen maksimum (Nmm)
- D = Gaya lintang atau gaya geser (N)
- P = Beban maksimum (N)
- L = Bentang balok (mm)



Gambar 2.2. Balok Sederhana yang Dibebani Gaya P/2



Gambar 2.3. Diagram Lintang/Geser



Gambar 2.4. Diagram Momen Lentur

III. METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian yang dilakukan adalah pengaruh rasio ukuran serat limbah botol plastik terhadap kuat tarik lentur perkerasan kaku. Pada penelitian ini, peneliti akan menjalankan penelitian dengan metode eksperimental. Secara umum metode eksperimental menggambarkan *layout* dari benda uji dan mempresentasikan hasil yang sudah didapat dari pengujian di laboratorium. Metode perhitungan yang menjadi pedoman pada penelitian ini adalah ACI 211. I 1-91. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mempengaruhi nilai campuran beton terhadap kekuatan lentur beton.

3.2 Metode Eksperimen

1. Benda Uji Beton

Benda uji yang akan dibuat terdiri beton balok yang berukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm dan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk variasi dalam penambahan serat limbah plastik dalam adukan beton dapat dilihat dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 Setiap variasi terdiri dari 6 (Enam) benda

uji, terdiri dari 3 (tiga) benda uji berbentuk balok dan 3 (tiga) benda uji silinder dengan umur beton 28 hari. Perhitungan *equivalent* ukuran rasio serat dapat dilihat dalam Tabel 3.3. Untuk penamaan variasi ukuran rasio serat limbah botol plastik dalam adukan beton dapat dilihat di Tabel 3.1. dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Jumlah Benda Uji Silinder dan Kode Benda Uji

Rasio Ukuran Fraksi	53	41	35	31
	T.A.1	T.B.1	T.C.1	T.D.1
Kuat Tekan pada Umur 28 Hari	T.A.2	T.B.2	T.C.2	T.D.2
	T.A.3	T.B.3	T.C.3	T.D.3
Jumlah	3	3	3	3

Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji Balok dan Kode Benda Uji

Rasio Ukuran Fraksi	53	41	35	31
Kuat Tarik	TL.A.1	TL.B.1	TL.C.1	TL.D.4
Lentur pada Umur 28 Hari	TL.A.2	TL.B.2	TL.C.2	TL.D.4
	TL.A.3	TL.B.3	TL.C.3	TL.D.\$
Jumlah	3	3	3	3

3.3. Bahan

Pada penelitian ini terdapat bahan atau material yang digunakan dalam campuran beton. Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen berfungsi sebagai pengikat butiran agregat dan mengisi ruang antar agregat sehingga terbentuk massa yang padat. Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen PCC dengan merek dagang Semen Padang. Semen PCC didapatkan dari toko dagang dengan keadaan baik dan tertutup dalam kemasan 50 kg per zak.

b. Agregat halus (pasir)

Agregat halus yang digunakan melalui beberapa tahap pengujian. Pengujian yang dilakukan yaitu kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat volume, kadar lumpur dengan penyaringan, kandungan zat organik dalam pasir, dan gradasi agregat halus sesuai dengan ketentuan dan syarat pada ASTM. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir yang berasal dari daerah Gunung Sugih, Lampung Tengah.

c. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dilakukan uji terhadap kadar air, berat jenis, penyerapan, gradasi, dan berat volume agregat apakah memenuhi standar ASTM. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian

yaitu batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.

d. Air

Air yang digunakan pada penelitian harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual serta tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton. Pada penelitian, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

e. Serat

Serat yang digunakan adalah serat limbah botol plastik PET yang di potong dengan berbagai rasio seperti yang telah di sebutkan dalam Tabel 3.1. dan Tabel 3.2. dengan ketebalan kurang lebih 1 mm. Dalam hal ini peneliti telah mencoba mencari *referensi* pada penelitian yang dilakukan oleh Abdo dan Jung (2019), dapat disimpulkan volume serat limbah plastik PET yang paling optimal untuk ditambahkan kedalam benda uji adalah 0,25%. Pada penelitian tersebut juga dipakai ukuran serat berukuran 30 x 5 x 0,15 mm. Oleh karena itu sesuai dengan judul penelitian maka fokus utama yang akan dilakukan peneliti adalah mencari rasio ukuran p/l yang maksimal. Dalam hal ini, peneliti memakai ukuran seperti yang tertera dalam Tabel 3.3.

3.4. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Cetakan Benda Uji

Cetakan digunakan untuk mencetak beton dengan bentuk silinder dan balok. Cetakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan pada pengujian kuat tekan beton. Cetakan berbentuk balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm digunakan pada pengujian kuat tarik lentur beton.

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat masing-masing bahan penyusun beton sesuai dengan komposisi yang direncanakan. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan manual berkapasitas maksimum 50 kg dengan ketelitian pembacaan 10 gram yang digunakan untuk mengukur berat beton (timbangan besar) dan timbangan elektronik berkapasitas maksimum 20 kg dengan ketelitian pembacaan 1 gram untuk mengukur berat bahan campuran beton.

3. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan pada saat pengujian material yang membutuhkan kondisi kering. Oven yang digunakan mempunyai kapasitas suhu maksimum 110° C dengan daya sebesar 2800 Watt.

4. Satu Set Saringan

Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat halus dan agregat kasar.

Untuk penelitian ini gradasi agregat halus dan agregat kasar berdasarkan standar ASTM C-33. Ukuran saringan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan pan.

5. Botol *La Chatelier*

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

6. Piknometer

Alat ini digunakan untuk mengetahui berat jenis SSD (*saturated surface dry*), berat jenis kering, berat jenis semu dan penyerapan agregat halus.

7. Alat Vicat

Alat ini digunakan untuk mengetahui waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir pada PPC (*Portland Composite Cement*).

8. Mesin Pengaduk Beton (*Concrete Mixer*)

Alat ini berfungsi untuk mengaduk campuran beton. Alat yang digunakan ini memiliki kapasitas $0,125 \text{ m}^3$ dengan kecepatan 20-30 putaran per menit.

9. *Slump Test Apparatus*

Kerucut Abrams yang digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat baja ini berfungsi untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan secara sederhana dengan percobaan *Slump Test*. Ukuran kerucut Abrams memiliki

diameter bagian bawah 200 mm, diameter bagian atas 100 mm, dan tinggi 300 mm. Ukuran tongkat baja memiliki panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

10. *Vibrator*

Alat ini digunakan untuk meratakan beton yang telah dicampur dan dituang ke dalam cetakan, sehingga campuran beton dapat merata di dalam cetakan beton dan mengurangi adanya potensi kekosongan atau pemerataan agregat yang kurang merata.

3.5 Persiapan Serat PET

Serat PET didapatkan dengan cara memotong atau mencacah limbah botol plastik PET secara manual. Proses pengadaan dan perawatan serat plastik PET adalah sebagai berikut:

1. Botol plastik bekas diseleksi dan dikumpulkan, diambil botol plastik yang berlogo PET dengan tebal 0,15 mm.
2. Botol dibersihkan, dipotong, dan diambil bagian badan dari botol tersebut
3. Setelah itu dipotong menggunakan gunting sesuai variasi aspek rasio yang telah ditentukan.

3.6 Perhitungan Aspek Rasio

Aspek rasio serat adalah perbandingan antara Panjang serat dan diameter serat. Pada serat berbentuk pipih, maka bisa digunakan nilai *equivalent diameter* sebagai diameter serat.

Pada penelitian ini menggunakan serat dengan variasi lebar serat 3 mm, 5 mm, 7 mm, dan 9 mm. Panjang serat yang digunakan adalah 40 mm dengan tebal serat 0,15 mm.

Perhitungan *equivalent diameter*:

- Untuk lebar serat 3 mm.

Luas lingkaran = Luas penampang melintang serat

$$0,25 \times \pi \times d^2 = l \times t$$

$$0,25 \times \pi \times d^2 = 3 \times 0,15$$

$$d = 0,7571$$

Perhitungan *equivalent diameter* dan aspek rasio serat selanjutnya akan disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.3 Nilai *Equivalent Diameter* dan Rasio Ukuran

No	Kode Serat	Lebar Serat (l) (mm)	Panjang Serat (d) (mm)	<i>Equivalent Diameter</i> (mm)	l/d	Aspek Rasio
1	AR 53	3	40	0,7571	52,8309	53
2	AR 41	5	40	0,9774	40,9226	41
3	AR 35	7	40	1,1565	34,5859	35
4	AR 31	9	40	1,3113	30,5019	31

Note: AR 53 (Aspek Rasio 53), dst.

3.7 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi tujuh tahap, yaitu:

1. Persiapan bahan dan peralatan

Pada tahap ini seluruh bahan yang dibutuhkan harus terlebih dahulu dipersiapkan. Sedangkan untuk peralatan wajib diadakan pengecekan kembali, apakah kondisi alat dalam keadaan baik atau tidak agar penelitian dapat berjalan dengan baik.

2. Hasil pengujian bahan

Pengujian sifat-sifat fisik material dilakukan untuk mengetahui data awal material yang akan dipakai pada campuran beton. Sifat-sifat fisik material yang diuji meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan, gradasi, berat volume, kadar lumpur, dan kandungan zat organik. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian digunakan untuk perhitungan campuran beton dengan metode *mix design*. Hasil pengujian dan perhitungan sifat-sifat fisik material yang lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran. Adapun ringkasan hasil pengujian sifat-sifat fisik material dapat dilihat pada Tabel 3.4. berikut ini:

Tabel 3.4. Hasil Pemeriksaan Pengujian Material Penyusun Beton

Jenis pengujian	Material yang dipakai	Nilai hasil pengujian	Standar ASTM
Kadar air	Agregat halus	0,654 %	0 – 1 %
	Agregat kasar	5,708 %	0 – 3 %
Berat jenis	Agregat halus	2,6	2,0 – 2,9
	Agregat kasar	2,62	2,5 – 2,9
	Semen	3.15 g/cm ³	-
Penyerapan	Agregat halus	2.25 %	1 – 3 %
	Agregat kasar	2.0 %	1 – 3 %
Modulus kehalusan	Agregat halus	2,947	2,3 – 3,1
	Agregat kasar	7,367	6,0 – 8,0
Berat volume	Agregat halus	1595.6 kg/m ³	-
	Agregat kasar	11519.4 kg/m ³	-
Kadar lumpur	Agregat halus	4,346 %	< 5 %
Kandungan zat organis	Agregat halus	Sama dengan warna standar	Tidak boleh lebih tua dari warna standar

Dari data yang diperoleh dalam Tabel 3.4. dapat dikatakan bahwa material penyusun beton telah memenuhi standar ASTM sehingga dapat digunakan sebagai campuran beton.

3. Pemeriksaan bahan campuran beton

Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian sesuai aturan yang sudah ditetapkan ASTM, guna mengetahui dan mendapatkan data apakah bahan memenuhi persyaratan atau tidak. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

a. Pengujian agregat halus atau pasir

1. Kadar air (ASTM C 566-78)
2. Berat jenis dan penyerapan (ASTM C 128-73)

3. Gradasi (ASTM C 33-93)
 4. Kadar lumpur dengan saringan (ASTM 117-80)
 5. Kandungan zat organik (ASTM C 40-92)
 6. Berat volume (ASTM C 29)
- b. Pengujian agregat kasar
1. Kadar air (ASTM C 556-78)
 2. Berat jenis dan penyerapan (ASTM C 127-88)
 3. Gradasi (ASTM C 33-93)
 4. Berat volume (ASTM C 29)
- c. Pengujian semen
1. Berat jenis semen
 2. Waktu pengikatan semen
4. Pembuatan rencana campuran beton (*mix design*) memakai metode ACI (ACI Committee 544,1993)

Rencana campuran antara semen, air dan agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Kekuatan yang direncanakan adalah kuat tarik lentur (f_r) = 3,5 MPa dan kuat tekan K-300 atau (f'_c) = 25 MPa.

Tabel 3.5. Komposisi Kebutuhan Material per m³ Beton Serat Plastik PET

Kebutuhan material (Kg)	
Semen	434,10
Air	205
Agregat halus	744,02
Agregat kasar	919,69
Serat	3,45

5. Pembuatan benda uji

Adapun tahap-tahap pembuatan benda uji antara lain:

- a. Pembuatan campuran adukan beton sesuai proporsi campuran hasil perhitungan beton serat.

- 1) Persiapan bahan campuran adukan beton

Bahan-bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, dan semen disiapkan terlebih dahulu dalam kondisi *saturated surface dry* (SSD). Ini dilakukan agar bahan-bahan tersebut tidak menyerap air atau menambah air pada proses pencampuran yang akan mempengaruhi kekuatan beton.

- 2) Setelah persiapan bahan, selanjutnya dilakukan pencampuran.

Perbandingan berat bahan-bahan susun beton diperhitungkan menggunakan metode ACI Committee 544, 1993. Mula-mula agregat kasar dimasukkan, kemudian dimasukkan sebagian air pencampur dan cairan bahan tambah bila diperlukan. Langkah selanjutnya mesin pengaduk dihidupkan, lalu tambahkan agregat

halus, semen, dan sisa air saat mesin pengaduk berputar. Proses pengadukan berlangsung selama tiga menit, dan diikuti dengan tiga menit berhenti, dilanjutkan dengan pengadukan terakhir selama dua menit.

b. Penambahan serat limbah botol plastik

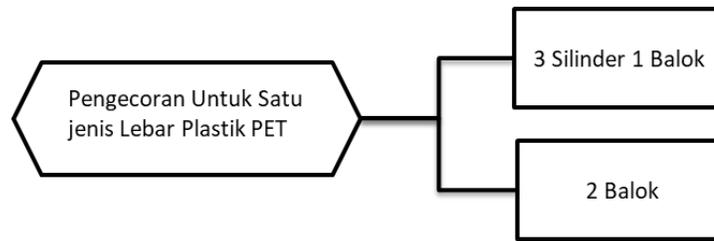
Penaburan serat dilakukan dengan bertahap agar serat tersebar secara merata di dalam adukan beton sehingga tidak terjadi penggumpalan serat (*balling effect*) yang dapat mempengaruhi kekuatan beton serat. Jumlah serat yang ditambahkan sesuai dengan *volume fraction* yang telah ditentukan.

c. Pemeriksaan nilai *slump* dan *VB-time* adukan beton

- 1) Alat *Slump test* (kerucut Abrams) disiapkan dan diletakkan di atas meja getar (*VB-test*), lalu adukan beton dimasukkan di dalamnya hingga $\frac{1}{3}$ bagian, lalu dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 25 kali. Adukan ditambahkan sampai $\frac{2}{3}$ bagian lalu ditumbuk 25 kali kembali. Adukan ditambahkan sampai penuh lalu ditumbuk sebanyak 25 kali lalu isi penuh kembali bagian atas dan diratakan.
- 2) Setelah itu kerucut Abrams diangkat lurus ke atas dan penurunan yang terjadi (nilai *Slump*) diukur.
- 3) Hasil dari penarikan kerucut yang berupa adukan berbentuk kerucut terpancung ini digetarkan di dalam kontainer di atas meja getar hingga permukaan horizontal (rata).

- 4) Waktu penggetaran yang diperlukan untuk proses tersebut dinamakan *VB-time*.
- d. Pencetakan benda uji silinder dan balok dilakukan dengan langkah sebagai berikut:
 - 1) Menyiapkan cetakan benda uji.
 - 2) Mengoleskan oli pada cetakan benda uji
 - 3) Memasukkan adukan ke dalam cetakan hingga penuh sambil dipadatkan dengan *vibrator*. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi segregasi di campuran beton.
 - 4) Meratakan permukaan setelah cetakan penuh dan padat, dan langsung ditutup dengan plastik.
 - 5) Melepaskan beton dari cetakan setelah 24 jam.
 - 6) Memberi masing-masing kode sampel di atas cetakan beton.
6. Perawatan terhadap benda uji (*curing*)

Tahap ini bertujuan agar permukaan beton segar selalu lembab. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik dan proses pengerasan terjadi dengan sempurna sehingga tidak terjadi retak-retak pada beton dan mutu beton dapat terjamin. Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji silinder dan balok dalam bak air selama waktu 7 hari. Setelah benda uji direndam, benda uji diangkat dari bak air.



Gambar 3.1. Pelaksanaan Pengecoran Untuk Setiap Rasio Ukuran Serat Plastik.

7. Pelaksanaan pengujian

a. Uji kuat tekan beton

Uji tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) berkapasitas 3000 kN dengan kecepatan pembebanan 0,14–0,34 MPa/detik. Pengujian dilakukan dengan mengatur alat CTM. Benda uji silinder beton yang telah melalui proses *curing* diangkat dan ditimbang. Kemudian, dicatat dan diberi tanda. Sebelum pengujian kuat tekan beton dilakukan, permukaan tekan benda uji silinder harus rata agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini, benda uji diberi lapisan belerang setebal 1,5–3 mm pada permukaan tekan benda uji, atau dapat dilakukan dengan memberi pasta semen. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari.

Benda uji diletakkan pada ruang penekan CTM dengan posisi tegak lurus. Kemudian mesin tekan dihidupkan dengan penambahan beban yang konstan dan secara perlahan alat akan menekan benda uji

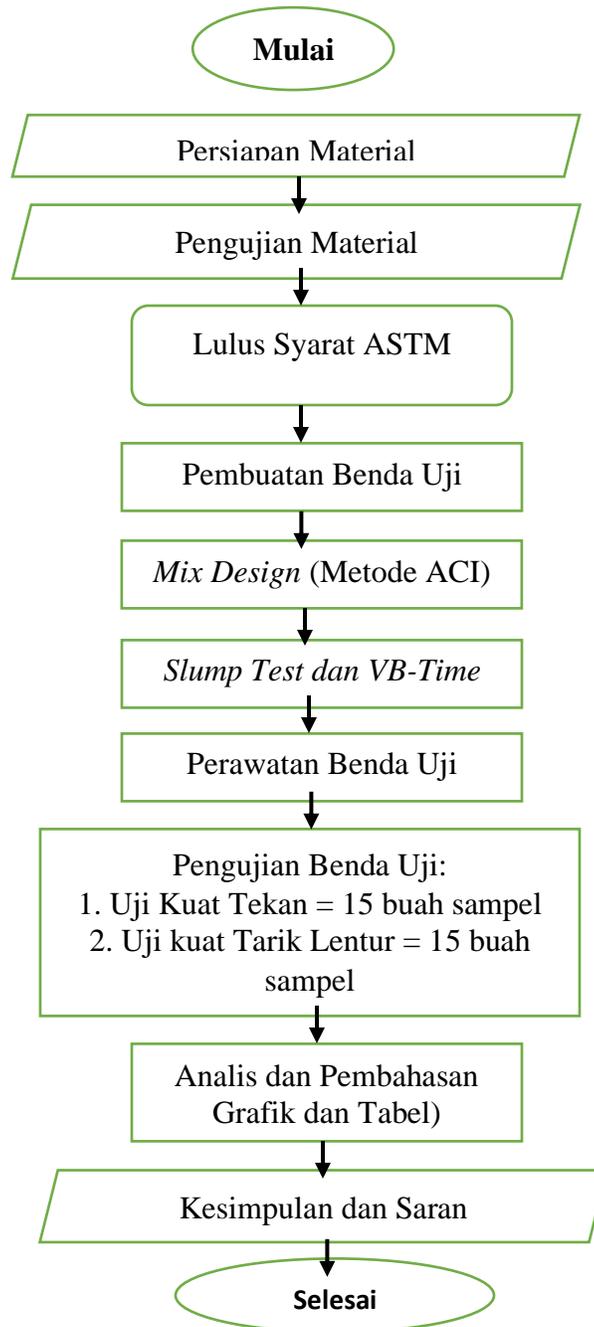
silinder, sampai beton mencapai hancur.

Beban maksimum yang tertera pada mesin uji untuk setiap benda uji dicatat. Dari pengujian ini akan didapat hasil beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton hancur.

b. Uji kuat tarik lentur

Pengujian ini menggunakan alat *hydraulic jack*. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Kuat lentur diteliti dengan membebani balok tiap sepertiga bentang dengan beban titik $1/2P$. Selanjutnya, diberikan beban tekan dari *hydarulic jack* sampai kondisi balok mengalami keruntuhan lentur, dimana retak utama yang terjadi pada sekitar tengah-tengah bentang. Kemudian mencatat dan menganalisis beban maksimum yang didapat.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai kuat tekan dan kuat lentur beton dengan empat variasi lebar ukuran serat limbah plastik PET yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *slump* akan menurun dan nilai *VB-time* akan semakin meningkat seiring meningkatnya Aspek Rasio (*aspect ratio*) yang ditambahkan.
2. Kuat tekan dan kuat lentur maksimal terjadi pada beton serat dengan aspek rasio ukuran serat plastik PET 40 x 7 mm dan menurun kembali pada variasi aspek rasio ukuran serat 40 x 9 mm dengan *VB-time* 9 detik dan memenuhi standar ACI Commite 544-1989.
3. Kuat tekan beton tertinggi terjadi pada beton dengan variasi aspek rasio ukuran serat plastik 40 x 5 mm yaitu sebesar 31,28 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 30,23% dari beton tanpa isi serat plastik PET, dan kuat lentur tertinggi terjadi pada beton dengan rasio ukuran serat 40 x 7 mm sebesar 5,11 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 29,04% dari beton tanpa tambahan serat limbah plastik PET.

4. Penurunan kuat tekan, dan kuat lentur akibat penambahan lebar serat limbah plastik PET yang tinggi menyebabkan semakin banyaknya rongga di dalam beton karena ikatan antar serat yang saling *overlapping* menyebabkan sulitnya pergerakan agregat.
5. Penambahan serat limbah plastik PET memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan kuat tekan dan lentur.
6. Penambahan serat limbah plastik PET memberi dampak yang signifikan terhadap kuat tarik dan nilai lingkungan pemanfaatan serat limbah plastik PET ini sangat bermanfaat terutama untuk daerah-daerah yang memiliki masalah dalam pengelolaan sampah jenis plastik PET.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk melengkapi dan merupakan pengembangan dari tema penelitian ini. Saran-saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian dengan *aspect ratio* yang lebih beragam sehingga dapat terlihat *aspect ratio* mana yang dapat menghasilkan kuat tekan, dan lentur maksimal dan juga *aspect ratio* dimana penurunan mulai terjadi.
2. Perencanaan campuran (*mix design*) serta ketelitian dalam penimbangan bahan sangat menentukan kualitas beton yang dihasilkan
3. Perlu lebih diperhatikan pada saat proses pengerjaan dan pemadatan agar serat limbah plastik PET terdistribusi secara merata.

4. Pada pengujian kuat tarik lentur, perlu dilakukan pengamatan terhadap pola retak dengan menggunakan alat *microcrack* agar dapat diketahui lebar dan pola retak yang lebih akurat dan proses pengujian perlu di videokan agar dapat terlihat waktu dan lokasi retak awal.
5. Pada proses pelaksanaan sebaiknya menggunakan alat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) yang lengkap untuk melindungi diri terhadap kemungkinan adanya bahaya/kecelakaan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdo A. M. 2016. *Utilizing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials in New Pavements - A Review*. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*. 12(1): 61-66.
- Abdo A. M. and Khater M. E. 2019. *Evaluation of Enforcing Rigid Pavements With Plastic Waste Fibers*, 5, Article #1452472, 1-7.
- Abdo A. M. and Jung S. J. 2019. *Enhancing Rutting Resistance of Asphalt Binder by Adding Plastic Waste*. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 14 No.13 Juli 2019
- 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.
- Al-Tayeb M. M., Ismail H., Dawoud O., Wafi S. R., and Daoor I. A. 2017. *Ultimate Failure Resistance of Concrete with Partial Replacements of Sand by Waste Plastic of Vehicles Under Impact Load*. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6(2): 610-616.
- Angelone S., Cauhape C. M., dan Martinez F. O. 2016. *Green Pavements: Reuse of Plastic waste Fibers in Asphalt Mixtures*. *Materials and Structures*. 49(5): 1655-1665.
- ASTM C33. 2013. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. *United States*.
- ASTM C39. 2014. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Speciment*. *United States*.

- ASTM C496. 2004. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Speciment. United States.*
- ASTM C78. 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).*
- ASTM E178-02. 2002. *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations. United States.*
- Chavan M. A. J. 2013. *Use of Plastic waste Fibers in Flexible Pavements. International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management.* 2(4): 540-552.
- Dipohusodo. 1994. *Struktur Beton Bertulang.* Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Foti D. 2011. *Preliminary Analysis of Concrete Reinforced with Waste Bottles PET Fibers. Construction and Building Materials.* 25, 1906-1915.
- Ghernouti Y., Rabehi B., Safi B., and Chaid R. 2014. *Use of Recycled Plastic Bag Waste in The Concrete. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies.* 8: 480-487
- Guendouz M., Debieb F., Boukendakdji, O., Kadri, E., Bentchikou, M., and Soualhi H. 2016. *Use of Plastic Waste in Sand Concrete. Journal of Materials and Environmental Science.* 7(2): 382-389.
- Hama S. M. and Hilal N. N. 2017. *Fresh Properties of SelfCompacting Concrete with Plastic Waste as Partial Replacement of Sand. International Journal of Sustainable Built Environment.* 6(2): 299-308.
- Hidayatullah, S. 2017. *Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Serat pada Beton.* Universitas Riau. Pekanbaru. Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017.
- Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Nafiri.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Modul 1 Konsep Dasar dan Konstruksi Perkerasan Kaku.* Diklat Perkerasan Kaku. Bandung
- Kumar S. and Baskar K. 2014. *Preliminary Study on Concrete with Mixed Electronic Plastic Waste. The International Reviewer.* 1(1): 1-4.
- Kumari B. and Srivastava V. 2016. *Effect of Waste Plastic and Fly Ash on Mechanical Properties of Rigid Pavement. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET).* 7(5): 247-256

- Malkapur S. M., Anand A., Pandey A. P., Ojha A., Mani N., and Mattur N. C. 2014. *Effect of Mix Parameters on the Strength Performance of Waste Plastics Incorporated Concrete Mixes*. *Journal of Structures*, 2014, Article #389014, 1-8
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif. *Jurnal Traksi* 3.2, 11- 17.
- Nibudey R. N., Nagarnaik P. B., Parbat D. K., and Pande A. M. 2013. *Strength and Fracture Properties of Post Consumed Waste Plastic Fiber Reinforced Concrete*. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development*. 3(2): 9-16.
- Nugraheni, M. 2017. Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Berkait (*Hooked*) dengan Perilaku Beton pada Beban Tekan Berulang, Universitas Lampung, Lampung.
- Odd E, G., 2011. Durability of Concrete Structures, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Norwegian University of Science and Technology.
- Hasanah E. R., Gunawan A., dan Afrizal Y. 2017. Pengaruh Penambahan Serat Kulit Pinang dan Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. Teknik Sipil. Fakultas Teknik UNIB. Bengkulu.
- Sangita G. R. and Verinder K. 2011. *A Novel Approach to Improve Road Quality by Utilizing Plastic waste Fibers in Road Construction*. *Journal of Environmental Research and Development*. 5(4): 1036-1042.
- SNI 2847-2013. 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Soroushian P., and Choi K. 1987. Steel Properties at Different Strain Rates, *ASCE Journal of the Structural Division*, volume 113, No. 663-672.
- Tjokrodinuljo. 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit: Yogyakarta