PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK BEKAS GELAS KEMASAN UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN *RIGID PAVEMENT*

(Skripsi)

Oleh

EVANTHE CALOSA
NPM 1715011035

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG

2022

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK BEKAS GELAS KEMASAN UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN *RIGID PAVEMENT*

Oleh

EVANTHE CALOSA

Beton merupakan bahan utama dari perkerasan kaku, dimana beton dapat menahan kuat tekan dan lemah terhadap kuat tarik. Kuat tarik lentur pada perkerasan kaku sendiri merupakan tolak ukur dalam perkerasan beton. Untuk meningkatkan nilai kuat tarik lentur tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan potongan limbah plastik bekas gelas kemasan berbahan *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur beton.

Pada penelitian ini penambahan potongan limbah plastik bekas gelas kemasan menggunakan volume fraksi 0%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% terhadap volume adukan beton. Penggunaan benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan dan balok berukuran 15 x 15 x 60 cm untuk uji kuat tarik lentur. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

Hasil penelitian yang didapatkan yaitu kuat tekan mengalami penurunan seiring bertambahnya serat dalam campuran beton. Kuat tarik lentur maksimum terjadi pada penambahan serat plastik pada volume fraksi 0,1% dengan peningkatan 23,75% dibandingkan dengan kuat tarik lentur beton normal. Akibat dari penambahan serat plastik pada campuran beton juga menurunkan kelecakan dari campuran beton.

Kata kunci: perkerasan kaku, limbah plastik *polypropylene,* kuat tekan, kuat tarik lentur.

ABSTRACT

UTILIZATION OF USED GLASS PLASTIC WASTE TO INCREASE THE STRENGTH OF CONCRETE MIXTURES AS A RIGID PAVEMENT MATERIALS

By

EVANTHE CALOSA

Concrete is the main material of rigid pavement that can withstand compressive strength and weak to tensile strength. Flexural tensile strength on rigid pavement itself is a benchmark in concrete pavement. To increase the value of the flexural tensile strength can be done by adding fiber to the concrete mixture. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of plastic waste from plastic packaging made of polypropylene on the compressive strength and flexural tensile strength of concrete.

In this study, the addition of used plastic waste pieces from packaged glass used fractional volumes of 0%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, and 0.7% of the volume of concrete mixture. The samples for this study were a cylinder with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm for the compressive strength test and a beam measuring 15 x 15 x 60 cm for the flexural tensile strength test. The test was carried out after the concrete had been 28 days old.

The result of this research is the compressive strength decreased along with the amount escalation of fiber to the concrete mixture. The flexural tensile strength maximum occur of the addition of plastic fibers at 2% volume fraction increased by 23,75% compared to flexural tensile strength of normal concrete. As a result of adding plastic fibers to the concrete mixture, it also decreased the workability of the concrete mixture.

Keywords: rigid pavement, polypropylene plastic waste, compressive strength, flexural tensile strength.

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK BEKAS GELAS KEMASAN UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN *RIGID PAVEMENT*

Oleh

EVANTHE CALOSA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022

Judul Skripsi	:	**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK BEKAS GELAS KEMASAN UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN *RIGID PAVEMENT***
Nama Mahasiswa	:	Evanthe Calosa
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1715011035
Program Studi	:	Teknik Sipil
Fakultas	:	Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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

Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19740831 200003 2 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

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

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

CamScanner

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.** .....

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

2. Dekan Fakultas Teknik

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Mei 2022**

CamScanner

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Pemanfaatan Limbah Plastik Bekas Gelas Kemasan untuk Meningkatkan Kekuatan Campuran Beton Sebagai Bahan *Rigid Pavement***" adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Mei 2022

Pembuat Pernyataan

Evanthe Calosa

NPM. 1715011035

CamScanner

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 30 Januari 1999, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Faried Jaendar Muda dan Ibu Dewi Kania. Penulis memiliki satu orang saudara yaitu Fania Benedita Ophelia.

Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Dunia Trakita Surabaya diselesaikan pada tahun 2005, Sekolah Dasar di SD Negeri Kendangsari I Surabaya diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 6 Surabaya pada tahun 2011-2012 dan SMP Negeri 85 Jakarta pada tahun 2012-2014, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 66 Jakarta diselesaikan pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Prodi S-1 Fakultas Tenik Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN.

Sejak tahun 2017, tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Kesekretariatan. Kemudian pada periode 2019/2020 penulis tercatat anggota Hubungan Luar Teknik Sipil Universitas Lampung. 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. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata di dua daerah yaitu Jakarta Utara dan Jakarta Selatan dikarenakan situasi *Covid-19* yang sedang terjadi pada periode II 2020.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjadi bendahara kegiatan penerimaan mahasiswa baru, bendahara kegiatan kelulusan, dan bendahara *6th Civil Brings Revolution* Universitas Lampung tahun 2020-2021. Penulis pernah menjadi Asisten Dosen Matakuliah Mekanika Tanah II 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 Plastik Bekas Gelas Kemasan untuk Meningkatkan Mekanik Campuran Beton Sebagai Bahan *Rigid Pavement.*

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmad dan hidayahnya, serta perlindungan, pertolongan, dan ridho-Nya kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Saya persembahkan karya ini kepada:

Papa Faried Jaendar Muda dan Mama Dewi Kania, yang selalu mendukung, mendoakan dan memberi semangat yang tak terhingga

Adik Fania Benedita Ophelia sekaligus sahabat dan teman berbagi suka dan duka selama berkuliah

Keluarga besar Kurdi Wiatmidja, Wirasasmita, Dja Endar Moeda, dan Rachmat

Dosen Pembimbing dan Penguji

Teknik Sipil Angkatan 2017, Keluarga Besar Teknik Sipil Unila dan seluruh staf akademisi Teknik Sipil Unila.

Almamaterku Universitas Lampung

MOTTO

“Dan barangsiapa menaruh seluruh kepercayaannya kepada Allah (Tuhan), maka Dia akan mencukupi mereka."
(QS. At-Talaq: 3)

"Berpikirlah positif, tidak peduli seberapa keras kehidupanmu."
(Ali bin Abi Thalib)

“*Do your best and Allah will do the rest*”
- Anonim

“Allah (Tuhan) tidak bermaksud menyulitkan kamu, tetapi Dia bermaksud untuk menyucikan kamu dan melengkapi nikmat-Nya sehingga kamu dapat bersyukur."
(QS. Al-Ma'idah: 6)

"Life is like riding a bicycle. To keep your balance you must keep moving."
(Albert Einstein)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul *"Pemanfaatan Limbah Plastik Bekas Gelas Kemasan untuk Meningkatkan Kekuatan Campuran Beton Sebagai Bahan Rigid Pavement"* adalah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Universitas Lampung.

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 Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
   - Dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberi dukungan dalam kuliah penulis.
   - Penguji, yang telah memberi saran, arahan dan dukungan dalam pengerjaan skripsi
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku pembimbing I atas segala arahan, masukan, bimbingan dan dukungan dalam hal penyusunan skripsi.
5. Ibu Vera Agustriana N., S.T., M.T., Ph.D., selaku Pembimbing II, atas arahan, bimbingan dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan.
6. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan.

CamScanner

7. Kedua orangtuaku tercinta, Papa Faried Jaendar Muda, S.T., MPP. dan Mama Dewi Kania, S.P. yang selalu mendukung, mendoakan, dan menjadi orang yang paling berjasa bagi saya hingga saat ini.
8. Adik kandungku, Fania Benedita Ophelia yang selalu memberikan dukungan sebagai adik dan teman selama ini, terutama saat jauh dari orang tua.
9. Alm. Kiki, Alm. Opa, Enin, Oma, Tante Ika Enin, Tante Lala, Om Yoga, Om Didi, Tante Ika Oma, Keluarga besar Kurdi Wiatmadja, Wirasamita, Rachmat dan Dja Endar Moeda yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas dukungan selama berkuliah dan menjadi wali saya saat jauh dari orang tua.
10. Rekan skripsi *rigid* pt. 2, Theo Gideon M., Ilham Mangesti A., M. Dzaky Abiyyu, yang sudah membantu dan mendukung selama proses pengerjaan skripsi dari awal hingga akhir.
11. Rekan satu laboratorium, Netta Riana, Corry Jayaputri S., Tri Ratna Utami, dan Sylvia Dewi A., yang telah membantu proses penelitian saya.
12. Teman-teman Basing Group, Milda, Goldy, Diana, Milen, Corry, dan Netta, yang sudah menjadi teman, sahabat, dan tempat berbagi cerita selama perkuliahan.
13. Teknisi Laboratorium Bahan dan Kontruksi Universitas Lampung dan Universitas Saburai yang telah membantu proses pengujian penelitian saya.
14. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung. Khususnya Keluarga Teknik Sipil 2017.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Besar harapan supaya penelitian ini dapat berguna khususnya dalam bidang kontruksi.

Bandar Lampung, 30 Mei 2022

Penulis,

Evanthe Calosa
NPM 1715011035

CamScanner

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL ..... **iii**

DAFTAR GAMBAR ..... **iv**

I. PENDAHULUAN **1**
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

II. TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1. *Rigid Pavement* (Perkerasan Kaku) 6
2.1.1. Jenis Perkerasan Kaku 7
2.2. Beton 13
2.3. Bahan Penyusun Beton 17
2.4. Konsep Beton Serat 22
2.4.1. Cara kerja Serat pada Beton 25
2.5. Landasan Teori 25
2.5.1. Kuat Tekan Beton 25
2.5.2. Kuat Tarik Lentur Beton 26
2.6. Penelitian Terdahulu 29

III. METODE PENELITIAN **32**
3.1. Umum 32
3.2. Metode Eksperimen 32
3.2.1. Benda Uji Beton 32
3.2.2. Bahan 33
3.2.3. Peralatan 35
3.3. Prosedur Pelaksanaan Penelitian 36
3.4. Diagram Alir Penelitian 42

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN **43**
4.1. Umum 43
4.2. Hasil Pengujian Material 44
4.3. Kelecakan Pengecoran *(workability)* 45
4.4. Berat Volume Beton 48
4.5. Kuat Tekan Beton 50
4.6. Kuat Tarik Lentur Beton 57

4.7. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Beton.....64

V. KESIMPULAN DAN SARAN.....69
5.1. Kesimpulan.....69
5.2. Saran.....70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (PENGUJIAN BAHAN)

LAMPIRAN B *(MIX DESIGN)*

LAMPIRAN C (HASIL PENGUJIAN)

LAMPIRAN D (DOKUMENTASI PENELITIAN)

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Beton Berdasarkan Berat Satuan.....15
2. Beton Berdasarkan Kuat Tekan 15
3. Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenisnya 17
4. Gradasi Standar Agregat Halus.....18
5. Gradasi Standar Agregat Kasar.....19
6. Penelitian Terdahulu yang Berhubungan dengan Beton Serat 29
7. Jumlah Benda Uji Silinder dan Kode Benda Uji 33
8. Jumlah Benda Uji Balok dan Kode Benda Uji 33
9. Hasil Pengujian Material Beton.....44
10. Kebutuhan Material per m^3.....45
11. Hasil Nilai *Slump* dan *VB-time Test* pada Campuran Beton.....45
12. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Serat Plastik Bekas Gelas Kemasan pada Benda Uji Balok untuk Pengujian Kuat Tarik Lentur 48
12. (Lanjutan) 49
13. Hasil Pembebanan pada Uji Kuat Tekan 51
14. Analisis Statistika Kuat Tekan Beton dengan Uji *Dixon Criteria*.....53
15. Hasil Pembebanan pada Uji Kuat Tarik Lentur.....57
16. Analisis Statistika Kuat Tarik Lentur Beton dengan Uji *Dixon Criteria*...59
17. Kuat Tarik Lentur Penambahan Serat Plastik PET (Abdo *and* Jung, 2019) 60
18. Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur 65
19. Analisis Nilai Kuat Tarik Lentur Berdasarkan Nilai Kuat Tekan 66
20. Perbandingan Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan 66
21. Perbandingan Kuat Lentur dengan Kuat Tekan Serat Plastik PET (Abdo *and* Jung, 2019) 67

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Jenis dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku.....7
2. Skema perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan.....8
3. Ruji dan batang pengikat.....9
4. Skema perkerasan kaku bersambung dengan tulangan.....10
5. Skema perkerasan kaku menerus dengan tulangan.....11
6. Skema perkerasan kaku prategang.....12
7. Skema perkerasan kaku pracetak.....13
8. Benda uji kuat tekan beton.....26
9. Balok sederhana yang dibebani gaya P/2.....27
10. Patah pada 1/3 bentang tengah (Persamaan 2).....28
11. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang (Persamaan 3).....28
12. Pengecoran untuk setiap volume fraksi.....38
13. Diagram alur pelakasanaan penelitian.....42
14. Grafik hubungan nilai *slump* dengan *volume fraction*.....46
15. *Slump test* adukan beton (a) tanpa serat (b) dengan serat plastik.....46
16. Grafik hubungan *VB-time* dengan *volume fraction*.....47
17. Grafik berat volume benda uji pada volume fraksi 0%, 0,1%, 0,3%, 0,5% dan 0,7%.....49
18. Grafik kuat tekan rata-rata setiap volume fraksi serat.....52
19. Pola retak geser dan kerucut pada pengujian kuat tekan (a) 0%, (b) 0,1%, (c) 0,3%, (d) 0,5%, dan (e) 0,7%.....55
20. Gambar pola retak yang mungkin terjadi pada uji kuat tekan.....56
21. Grafik kuat tarik lentur rata-rata setiap volume fraksi serat.....58
22. Pola retak uji kuat tarik lentur dengan volume fraksi (a) 0%, (b) 0,1%, (c) 0,3%, (d) 0,5%, dan (e) 0,7%.....62

23. Potongan melintang pola retak uji kuat tarik lentur volume fraksi 0% dan 0,3% 63
24. Hubungan kuat tekan dan kuat tarik lentur 67

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Memasuki era revolusi industri yang semakin meningkat, dibutuhkan infrastruktur ataupun akses perjalanan yang memadahi untuk mencapai tujuan yang telah direncanakan. Tidak hanya itu, setiap tahunnya jumlah penduduk makin meningkat sehingga kebutuhan sandang yang memadahi untuk menunjang aktivitas yang dibutuhkan. Dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur dan akses perjalanan yang kian bertambah, membuat keadaan lingkungan mulai tidak seimbang akibat penggunaan material bangunan yang berlebih, salah satunya yaitu beton. Beton sendiri merupakan bahan utama yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena penggunaannya yang mudah dan kebutuhan pemeliharaan yang minim. Tidak hanya untuk bangunan, beton sendiri saat ini sudah banyak digunakan dalam industri perkerasan jalan.

Perkerasan jalan raya memiliki 2 jenis, yaitu perkerasan beton *(rigid pavement)* dan perkerasan aspal *(flexible pavement)*. Perkerasan beton memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan dengan perkerasan aspal. Perkerasan beton dapat menahan gaya tekan yang besar dan terhadap pengaruh suhu, cuaca dan air. Tidak hanya itu, perkerasan beton mempunyai tingkat keawetan yang tinggi. Maka dari itu saat ini perkerasan beton mendominasi ruas jalan yang dilewati beban lalu lintas yang besar. Akan tetapi beton juga memiliki kekurangan yaitu tidak dapat menahan tarik atau disebut dengan sifat getas.

Sifat getas pada beton dapat diatasi dengan cara menerapkan konsep beton serat untuk meningkatkan kekuatan tarik pada beton. Menurut *ACI Committee 544-*

1984 dalam Suhardiman (2011), beton serat diartikan sebagai beton yang bahan penyusunnya terdiri atas semen, agregat kasar, agregat halus dan sejumlah kecil serat atau *fibre*. Penambahan serat ke dalam campuran beton, baik buatan maupun alami berguna untuk menambah daktilitas beton, menambah nilai kuat tarik beton, meningkatkan ketahanan retak akibat sifat beton yang kurang baik dalam menahan kuat tarik yang mudah terfilterasi air yang mengurangi keawetan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengurangi sifat getas pada beton dengan menerapkan konsep beton serat. Pada penelitian Abdo A. M. Abu *and* Jung S. J. (2019), penambahan serat plastik botol PET terhadap volume beton dengan variasi penambahan 0,25%, 0,375%, dan 0,5% mendapatkan hasil nilai kuat tekan yang paling optimum pada variasi 0,25% dengan peningkatan 65,16% dari beton normal. Pada nilai kuat tarik lentur hasil optimum pada 0,25% dengan kenaikan hingga 95% dari beton normal.

Pada penelitian Handayasari (2017), penambahan serat plastik botol minuman terhadap agregat halus dengan variasi penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% mendapatkan hasil nilai kuat tekan yang paling optimum pada variasi 5% dengan peningkatan 0,8% dari beton tanpa serat dengan umur beton 28 hari. Pada nilai kuat tarik lentur mendapatkan hasil optimum pada variasi 5% dengan peningkatan 2,73% dari beton tanpa serat.

Pada penelitian Ridwan (2014), penambahan cacahan gelas plastik PP *(Polypropylene)* pada campuran beton dengan variasi penambahan 0%, 0,5%, 0,75%, 1%, dan 1,25% mendapatkan hasil nilai kuat tarik optimum pada penambahan variasi 0,5% dengan peningkatan 20,45% dari beton tanpa serat dengan umur beton 28 hari.

Penelitian Hidayatullah (2017) dilakukan dengan menambahkan limbah plastik botol dengan variasi penambahan serat 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, dan 1% dengan umur beton 28 hari. Hasil yang didapatkan yaitu nilai pengujian kuat tekan bertambah pada variasi 0,6% dengan peningkatan 12% dari beton tanpa

serat. Pada nilai kuat lentur beton mengalami kenaikan 12,5% dari beton tanpa serat dengan variasi penambahan 0,8%.

Dari beberapa penelitian yang sudah disebutkan diatas, penambahan serat berupa potongan-potongan plastik *polypropylene* ke dalam campuran beton dapat meningkatkan sifat mekanik beton untuk perkerasan kaku.

Pada penelitian ini yang akan diteliti adalah nilai kuat tekan dan kuat tarik lentur dengan bahan tambah yang digunakan adalah plastik bekas gelas kemasan berbahan *polypropylene.* Penambahan plastik bekas berbahan *polypropylene* ini berguna untuk memperbaiki kelemahan yang ada pada beton. Penggunaan plastik bekas gelas kemasan ini dilakukan dalam rangka mengurangi tingkat limbah plastik yang ada saat ini. Limbah plastik dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena tidak bisa diurai di dalam tanah dan hanya sekitar 4% yang dapat diolah.

Sehingga beradasarkan pengamatan penelitian terdahulu dapat disimpulkan variasi serat plastik yang digunakan sebanyak 5 variasi (0%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% terhadap volume benda uji). Dengan digunakannya variasi tersebut diharapkan dapat mengetahui komposisi optimum dalam variasi penambahan plastik bekas gelas kemasan terhadap sifat mekanik beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik lentur.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disebutkan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah:

1. Bagaimana pengaruh potongan limbah plastik bekas gelas kemasan yang ditambahkan pada campuran beton sebagai bahan perkerasan jalan terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh potongan limbah plastik bekas gelas kemasan yang ditambahkan pada campuran beton sebagai bahan perkerasan jalan terhadap kuat tarik lentur beton?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh potongan limbah plastik bekas gelas kemasan yang ditambahkan pada campuran beton sebagai bahan perkerasan jalan terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui pengaruh potongan limbah plastik bekas gelas kemasan yang ditambahkan pada campuran beton sebagai bahan perkerasan jalan terhadap kuat tarik lentur beton.

1.4. Batasan Masalah

Dengan memudahka penyelesaian masalah penelitian diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian yaitu uji kuat tekan dan uji kuat lentur beton.
2. Beton yang akan diuji adalah beton dengan mutu normal dalam perencanaan yaitu 20,75 MPa atau K-250.
3. Benda uji yang akan digunakan pada pengujian kuat tekan beton adalah berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
4. Benda uji yang ada digunakan pada pengujian kuat lentur beton adalah berbentuk balok dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm.
5. Pengujian benda uji dilakukan pada umur beton 28 hari.
6. Perhitungan campuran beton menggunakan metode ACI 211. 1-91.
7. Volume fraksi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 5 variasi, yaitu 0%,0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% terhadap volume benda uji.
8. Ukuran serat yang digunakan yaitu panjang 4 cm dan lebar 4 mm dengan potongan secara vertikal pada gelas kemasan.
9. Menggunakan peraturan standar dalam pengujian beton yaitu:

a. Uji kuat tekan beton benda uji silinder, berdasarkan SNI 1974:2011 dan ASTM C 39.
b. Uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, berdasarkan SNI 4431:2011 dan ASTM C 78

10. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah ilmu pengetahuan mengenai beton serat dengan campuran serat berbahan plastik.
2. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi komposisi campuran serat plastik bekas gelas kemasan berdasarkan kuat tekan dan kuat tarik lentur beton.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai kuat tekan dan kuat tarik lentur beton dengan serat berbahan plastik bekas gelas kemasan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Rigid Pavement* (Perkerasan Kaku)

Perkerasan kaku merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga memiliki tingkat kekakuan lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan aspal (Kementerian PUPR,2017). Perkerasan kaku atau *rigid pavement* dapat ditemui pada lalu lintas dengan kondisi yang cenderung padat serta pengguna kendaraan dengan distribusi beban yang besar seperti jalan tol, jalan lintas provinsi maupun jembatan layang. Di Indonesia sendiri, *rigid pavement* sudah digunakan di beberapa jalan tol salah satunya, Jakarta Intra *Urban Ring Road*, Tangerang-Merak, Jalan Lintas Sumatera, dan lain-lain.

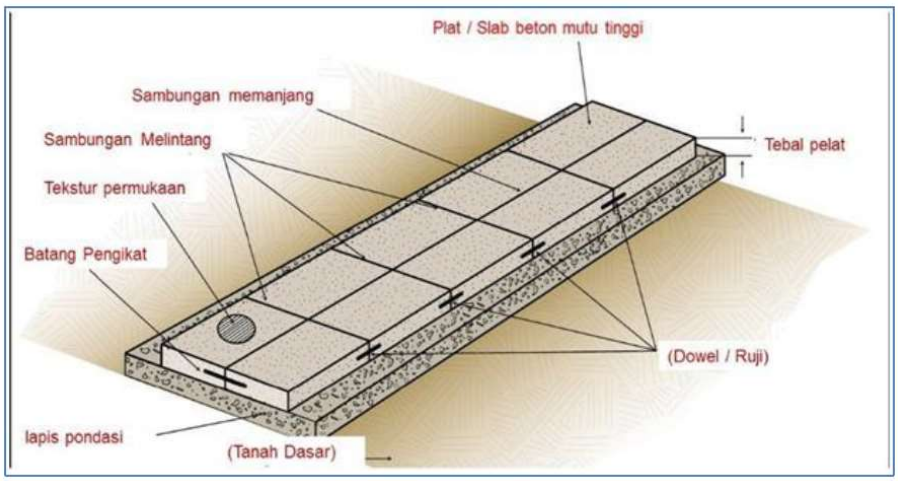
Rigid pavement memiliki keunggulan daripada perkerasan lentur, dimana penyaluran beban ke *subgrade* lebih luas akibat kekakuan yang dimiliki perkerasan kaku. Beda halnya dengan perkerasan lentur, dimana persebaran bebannya tidak sebaik beton dikarenakan memiliki material yang tidak kaku sehingga membutuhkan ketebalan yang lebih banyak (Tenriajeng, 1999). Adapun kelebihan dan kekurangan perkerasan kaku sebagai berikut (Kementerian PUPR, 2017):

a. Kelebihan perkerasan kaku
    1. Struktur perkerasan lebih tipis kecuali untuk area tanah lunak.
    2. Pelaksanaan konstruksi dan pengendalian mutu lebih mudah.
    3. Biaya pemeliharaan lebih rendah jika mutu pelaksanaan baik
    4. Pembuatan campuran lebih mudah.
b. Kekurangan perkerasan kaku
    1. Biaya konstruksi lebih mahal untuk jalan dengan lalu lintas rendah.

2. Rentan terhadap retak jika dilaksanakan di atas tanah lunas, atau tanpa daya dukung yang memadai, atau tidak dilaksanakan dengan baik (mutu pelakasanaan rendah).
3. Umumnya kurang nyaman berkendara.

2.1.1. Jenis Perkerasan Kaku

Dalam pengerjaan perkerasan kaku, untuk penyambungan pelat beton dilengkapi dengan beberapa sambungan seperti sambungan susut melintang, sambungan muai, sambungan pelaksanaan, dan sambungan memanjang. Tata telat sambungan pada perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jenis dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku. (Kementerian PUPR, 2017)

Perkerasan kaku sendiri memiliki dua hal penting, pertama nilai kuat tarik lentur yang menyatakan kekuatan terhadap beban lalu lintas. Kedua, perlu diperhitungkan mengenai perkerasan kaku yang dapat menyusut dan memuai akibat temperature, pergerakan lalu lintas dan penyusutan beton itu sendiri. Menurut Kementerian PUPR (2017), terdapat beberapa jenis perkerasan kaku, yaitu:

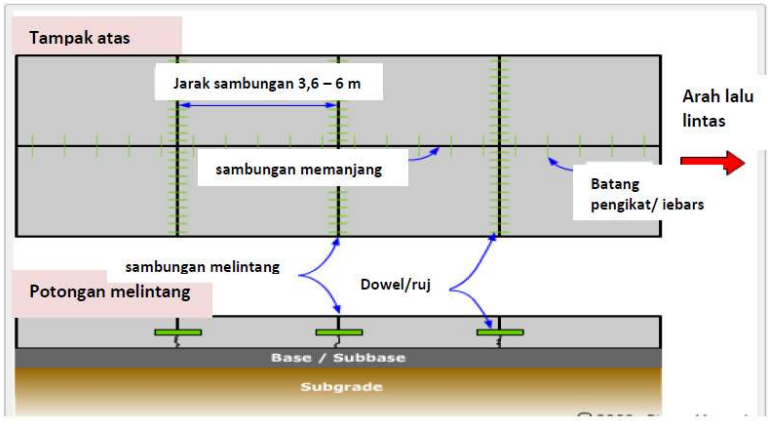
a. Perkerasan beton semen

   Dimana semen sebagai lapisan aus. Perkerasan beton semen dibagi lagi menjadi beberapa macam:

1. **Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau "*jointed unreinforced (plain) concrete pavement*" (JPCP).**

   Perkerasan kaku ini merupakan jenis perkerasan kaku yang paling umum digunakan karena biaya yang relatif murah dalam pelaksanaannya. Kinerja penting pada perkerasan ini yaitu penyalur beban yang melintang sepanjang sambungan. Jika sambungan mengalami *faulting* (perbedaan ketinggian kedua sisi pelat pada sambungan), maka pengemudi akan mengalami *bumping* pada sambungan dan dapat berbahaya bagi pengendara.

   Sambungan susut pada umumnya dibuat setiap antara 3,6 m dan 6 m (Indonesia umumnya anatara 4,5 m dan 5 m). Berikut skema perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (Gambar 2).



Gambar 2. Skema perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan. (Kementerian PUPR, 2017)

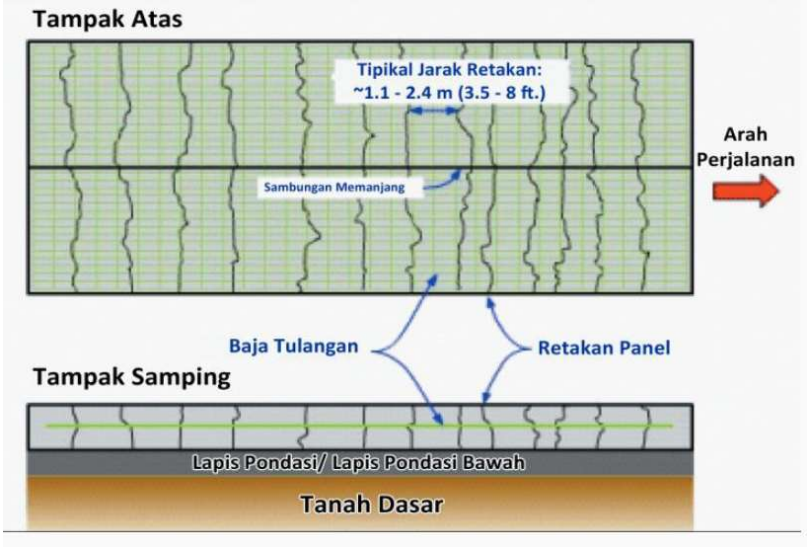
Perkerasan kaku ini tidak ada sambungan kecuali ruji yang diletakkan pada sambungan susut dan batang pengikat yang berfungsi sebagai penyalur beban (Gambar 3).

Ruji Batang pengikat

Gambar 3. Ruji dan batang pengikat. (Kementerian PUPR, 2017)

2. **Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau "*jointed reinforced concrete pavement*" (JRCP).**

Perkerasan ini memiliki kemiripan dengan perkerasan kaku tanpa tulangan kecuali dengan ukuran pelatnya yang lebih panjang dan memiliki tulangan pada pelatnya. Fungsi penulangan ini dimaksudkan untuk memikul beban secara struktural dan menjaga agar retakan tetap rapat. Jarak sambungan pada umumnya 7,5 m dan 12 m. Perkerasan ini memiliki kelebihan yaitu jumlah sambungan yang lebih sedikit, tetapi memiliki kekurangan karena biaya penulangan yang besar dan kinerja sambungan yang kurang baik akibat adanya retak pada pelat. Berikut skema perkerasan bersambung dengan tulangan (Gambar 4).

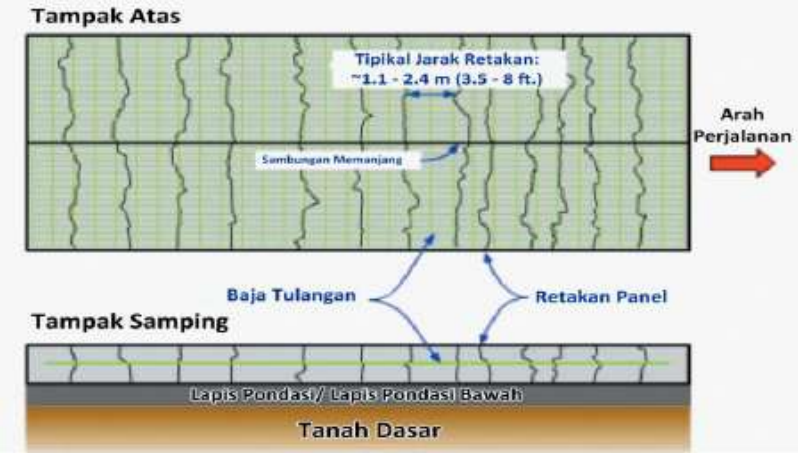


Gambar 4. Skema perkerasan kaku bersambung dengan tulangan. (Kementerian PUPR, 2017)

3. **Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau *"continuously reinforced concrete pavement"*(CRCP).**

Perkerasan kaku ini merupakan pelat dengan jumlah tulangan yang cukup banyak tanpa sambungan susut. Penggunaan tulangan yang digunakan umumnya berada pada 0,6%-0,8% dari luas penampang melintang beton dengan arah memanjang. Perkerasan ini menggunakan angker pada awal dan akhir dari perkerasan untuk menahan kontraksi akibat dari penyusutan dan membantu perkembangan retak sesuai dengan rencana.

Perkerasan kaku menerus dengan tulangan ini memiliki permukaan yang lebih rata dan mempunyai umur yang lebih panjang dibandingkan dengan perkerasan lainnya. Kekurangan dari perkerasan ini yaitu biaya yang dibutuhkan lebih besar karena memiliki jumlah tulangan yang lebih banyak. Berikut merupakan skema perkerasan kaku menerus dengan tulangan (Gambar 5).



Gambar 5. Skema perkerasan kaku menerus dengan tulangan.
(Kementerian PUPR, 2017)

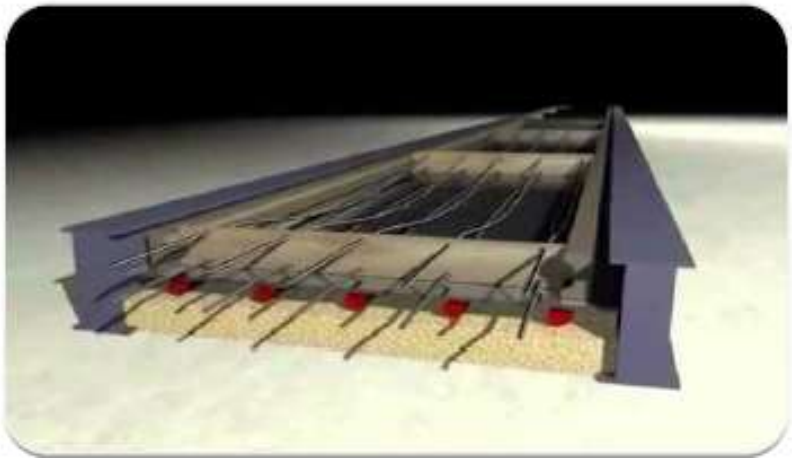
4. **Perkerasan beton semen 'prategang' atau *"prestressed concrete pavement".***

Perkerasan kaku prategangan pertama kali digunakan di lapangan terbang. Perkerasan ini memiliki potensi berkaitan dengan penggunaan bahan yang lebih efisien dan sambungan yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit sehingga kemungkinan retakan yang terjadi lebih kecil.

Pada perkerasan kaku konvensional, beton antara serat atas dan serat bawah dari pelat tidak dimaksimalkan untuk menahan tegangan akibat beban roda. Sedangkan pada perkerasan beton prategang, kuat tarik lentur beton ditingkatkan dengan memberikan tegangan tekan dan tidak dibatasi lagi oleh kuat tarik lentur betonnya. Dengan demikian tebal perkerasan kaku yang dibutuhkan untuk beban tertentu lebih tipis dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional.

Pada umumnya perkerasan kaku prategang memiliki panjang pelat seitar 130 m. Tetapi di Amerika dan Eropa sendiri telah dibangun panjang pelat 230 m dan 300 m serta ketebalan pelatnya sekiatr 40%-

50% dari tebal perkerasan kaku konvensional. Berikut skema perkerasan kaku prategang (Gambar 6).

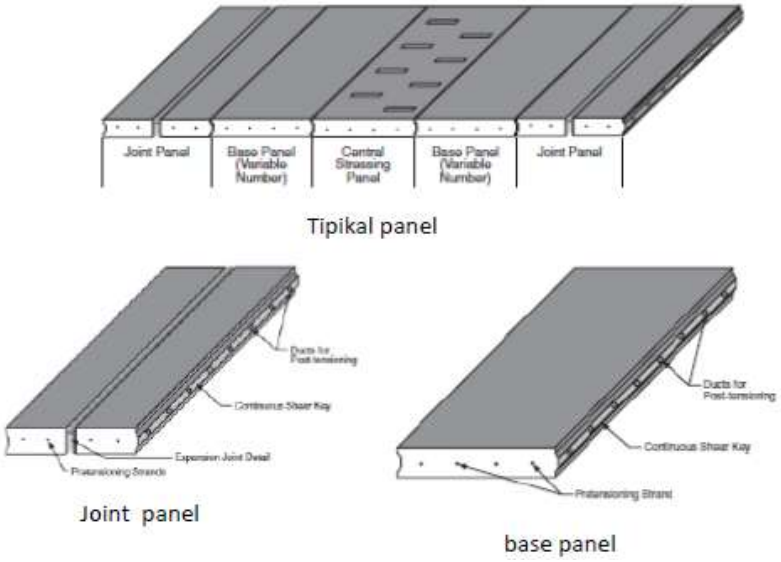


Gambar 6. Skema perkerasan kaku prategang. (Kementerian PUPR, 2017)

5. Perkerasan beton semen pracetak (dengan dan tanpa prategang).

Perkerasan kaku pracetak dibedakan menjadi 2 jenis yaitu, perkerasan kaku pracetak tanpa prategang dan perkerasan kaku pracetak dengan prategang. Perkerasan ini terdiri dari individual panel yang dicetak terlebih dahulu serta diberi pratekan dengan tebal pelat 20 cm dan dicetak selebar perkerasan jalan. Perkerasan kaku ini kurang lebih mempunyai kapasitas menerima beban lalu lintas, setara dengan perkerasan kaku konvensional setebal 35,5 cm.

Perkerasan kaku pracetak ini memiliki tipe jenis pelat yang digunakan, yaitu *joint panel* dan *central panel.* Keuntungan dari perkerasan ini adalah terjaganya kualitas beton tetap tinggi sesuai dengan yang direncanakan, selama pelaksanaan tidak terlalu mengganggu lalu lintas dan pengaruh akibar cuaca sangat kecil. Berikut skema perkerasan kaku pracetak (Gambar 7).



Gambar 7. Skema perkerasan kaku pracetak. (Kementerian PUPR, 2017)

b. Perkerasan komposit

Dimana pelat beton dijadikan lapis pondasi dan lapis permukaannya aspal beton. Lapisan aspal diperhitungkan sebagai bagian yang ikut memikul beban. Perkerasan kaku ini sering digunakan pada *runaway* lapangan terbang.

2.2. Beton

Menurut SNI-2847-2019, beton merupakan perpaduan antara semen hidrolis atau semen *portland*, agregat kasar, air, dan agregat halus tanpa atau dengan bahan campuran lain, yang menghasilkan massa yang stabil, padat, dan kuat. Beton memiliki beberapa keunggulan yaitu, bahan penyusun mudah didapat, dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran yang dibutuhkan, beton dapat bertahan dalam temperatur yang tinggi, dan biaya perawatan yang tidak mahal. Tetapi beton juga memiliki kelemahan yaitu tidak dapat menahan kuat tarik akibat sifatnya yang getas, pelaksanaan pekerjaan perlu ketelitian yang tinggi dan bentuk yang sudah dibuat tidak bisa diubah.

Beton merupakan komponen paling penting dalam pembuatan *rigid pavement* karena beton merupakan komponen utama, sehingga beton merupakan fokus utama dalam penelitian ini. Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.1.-2 (1971) dalam Ahmad, dkk (2009), beton dapat dibedakan menurut kelas dan mutu beton, yaitu:

1. Beton Kelas I dikategorikan pada pekerjaan non struktural. Tahap pengerjaan tidak membutuhkan keahlian khusus. Untuk tingkat pengawasan mutu bahan dilakukan dengan tingkat pengawasan yang rendah dan pengawasan terhadap kuat tekan tidak diharuskan untuk dilakukan pemeriksaan. Mutu betin Kelas I disimbolkan dengan Bo.
2. Beton Kelas II dikategorikan pada pekerjaan struktural yang umum. Tahap pengerjaan dilakukan oleh pihak yang cukup ahli dan wajib diketuai tenaga ahli. Mutu standar beton Kelas II dikategorikan lagi menjadi B1, K125, K175, dan K225. Pada mutu B1, tingkat pengawasan mutu bahan dilakukan dengan tingkat pengawasan yang sedang dan pengawasan terhadap kuat tekan tidak diharuskan untuk dilakukan pemeriksaan. Pada mutu , K125, K175, dan K225, tingkat pengawasan mutu bahan dilakukan dengan tingkat pengawasan yang ketat dan pengawasan terhadap kuat tekan diharuskan untuk dilakukan pemeriksaan secara berkala.
3. Beton Kelas III dikategorikan untuk pekerjaan struktural dengan karakteristik mutu beton diatas 225 kg/cm^2. Tahap pengerjaan dilakukan oleh pihak yang ahli dan wajib diketuai tenaga ahli. Pada tahap pengerjaan beton Kelas III wajib dilakukan di laboratorium yang memiliki alat yang lengkap dan diawasi tenaga ahli untuk pengujian secara berkala. Beton Kelas III disimbolkan huruf K ditambah dengan angka untuk menunjukkan karakteristik beton yang dikerjakan.

Beton juga dapat dikelompokkan berdasarkan berat satuan dan berdasarkan kuat tekan, dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Beton Berdasarkan Berat Satuan

Jenis Beton	Berat Satuan
Beton Ringan	≤ 1.900 kg/m^3
Beton Normal	2.200-2.500 kg/m^3
Beton Berat	> 2.500 kg/m^3

Sumber: SNI 03-2847-2002

Tabel 2. Beton Berdasarkan Kuat Tekan

Jenis Beton	Mutu
Beton Mutu Rendah	< 20 MPa
Beton Mutu Normal	21 MPa-40 Mpa
Beton Mutu Tinggi	≥ 41 MPa

Sumber: SNI 03-2847-2002, ACI 318, ACI 363R-62

Dalam tahap perencanaan dan pelaksanaan struktur beton, perlu diketahui sifat-sifat beton saat masih dalam bentuk adukan maupun sifat-sifat beton sesudah mengeras. Menurut Tjokrodimuljo (2007) serta Sugiyanto dan Sebayang (2005) sifat-sifat yang perlu diketahui:

a. Keawetan *(durability)*

   Kemampuan beton dalam mempertahankan kondisi seperti yang telah direncanakan tanpa terjadi korosi selama waktu yang telah ditentukan.

b. Kuat tekan

   Beton memiliki kemampuan yang baik dalam menerima beban tekan yang tinggi tetapi memiliki kemampuan yang rendah dalam menerima gaya tarik. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm dengan satuan MPa. Kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

   1) Umur beton
   2) Faktor air semen (FAS)
   3) Kepadatan beton
   4) Jumlah pasta semen
   5) Jenis semen
   6) Sifat agregat

c. Kuat tarik

Beton merupakan bahan material yang tidak dapat memikul tegangan tarik yang besar dan bersifat getas. Kuat tarik beton memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat tekannya, yaitu berkisar 10%-15% lebih kecil.

d. Modulus elastisitas

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

$E_c = W_c^{1,5} \cdot 0{,}043\sqrt{fc}$ (untuk W_c antara 1440 dan 2560 kg/m^3)

$E_c = 4700\sqrt{fc}$ (untuk beton normal)

Dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat jenis beton

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

e. Susut dan rangkak beton

Beton memiliki volume yang berbeda saat masih berbentuk lunak (beton segar) dan setelah mengeras. Hal ini terjadi dikarenakan terjadi penguapan air saat beton mengeras akibat proses hidrasi semen. Maka dari itu faktor air semen sangat berpengaruh dalah proses penyusutan.

f. Kelecakan (*workability)*

Workability merupakan sifat adukan beton yang berpengaruh pada proses kemudahan proses pencampuran, pengecoran, pemadatan, pengadukan, dan *finishing.*

g. Berat jenis

Berat jenis merupakan hal yang penting dalam menetukan jumlah material yang dibutuhkan. Berat jenis dapat diartikan sebagai rasio antara volume bahan dengan beratnya. Berat jenis juga dapat menentukan jenis beton dan pemakaiannya.

Tabel 3. Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenisnya

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1,00	Non struktur
Beton Ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton Normal	2,30 – 2,40	Struktur
Beton Berat	> 3,0	Perisai sinar X

Sumber: Tjokrodimuljo,2007

2.3. Bahan Penyusun Beton

Berikut merupakan bahan penyusun beton:

1. Semen *Portland*

   Semen *portland* adalah material berupa serbuk halus yang mengadung alumunium silikat dan kalsium sebagai pengikat hidrolis. Semen akan berubah bentuk menjadi keras apabila dicampur dengan air. Campuran antara semen dan air disebut dengan pasta semen, dan apabila ditambah dengan agregat halus disebut mortar. Semen sendiri dibagi menjadi beberapa jenis (SNI-15-2049-2004), yaitu:

   a. Tipe I

      Dipergunakan pada penggunaan yang umum dan tidak memerlukan ketentuan khusus.

   b. Tipe II

      Dipergunakan pada penggunaan yang membutuhkan ketahan terhadap panas hidrasi sedang di sulfat.

   c. Tipe III

      Dipergunakan pada penggunaan yang memerlukan nilai yang tinggi pada kekuatan awal.

   d. Tipe IV

      Dipergunakan pada penggunaan yang membutuhkan nilai hidrasi rendah pada persyaratannya.

   e. Tipe V

      Dipergunakan pada penggunaan yang membutuhkan persyaratan sangat tahan terhadap nilai sulfat yang tinggi.

Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I.

2. Agregat Halus

Agregat halus berfungsi sebagai material pengisi dan pemberi stabilitas dimensi serta sifat kaku pada beton. Agregat halus yang baik memiliki bentuk yang halus dan bulat agar kebutuhan air berkurang. Apabila bentuk agregat halus pipih, maka kebutuhan air lebih banyak akibat *surface area* lebih besar. Menurut SK SNI-04-1989-F 6 tentang spesifikasi bahan bangunan, agregat halus yang baik untuk digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering) dan memiliki modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila kadar lumpur melebihi batas tersebut maka agregat harus dicuci terlebih dahulu.
b. Agregat halus tidak mengandung bahan-bahan organic agar tidak menimbulkan rekasi senyawa yang berakibat berkurangnya kualitas beton.
c. Butiran agregat halus harus bersifat kekal, yang artinya tidak hancur atau pecah akibat pengaruh cuaca.
d. Agregat halus tidak memiliki kandungan pasir laut kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksa yang diakui.

Adapun gradasi standar agregat halus menurut ASTM C-33 terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gradasi Standar Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos
9,5	100
4,75 (No 4)	95 - 100
2,36 (No 8)	80 – 100
1,18 (No 16)	50 – 85
0,6 (No 30)	25 – 60
0,3 (No 50)	10 – 30
0,15 (No 100)	2 – 10
Pan	

Sumber : ASTM C-33

3. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil hasil pecahan alami dari batu pecah atau batuan yang didapat dari industri pemecah batu dan ukuran yang dimiliki antara 4,75 mm-37,5 mm. Menurut SK SNI-04-1989-F 6 tentang spesifikasi bahan bangunan, agregat kasar yang baik untuk digunakan harus sesuai persyaratan sebagai berikut:

a. Kerikil tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton dan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui dari 1% maka harus dicuci.
b. Besar butir kerikil terbesar tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, sepertiga dari tebal plat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diizinkan apabila menurut penilaian pengawas ahli.
c. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang tidak berpori dan keras. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat secara keseluruhan.
d. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, yang artinya tidak hancur atau pecah akibat pengaruh cuaca.

Adapun gradasi standar agregat kasar menurut ASTM C-33 terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Gradasi Standar Agregat Kasar

Ukuran Saringan	**Persentase Lolos**		
(mm)	**37,5 – 4,75**	**19,0 – 4,75**	**12,5 – 4,75**
50	100	-	-
38,1	95 – 100	-	-
25	-	100	-
19	35 – 70	90 – 100	100
12,5	-	-	90 - 100
9,5	10 – 30	20 – 55	40 – 70
4,75	0 - 5	0 – 10	0 – 15
2,36	-	0 - 5	0 – 5
Pan	-	-	-

Sumber : ASTM C-33

4. Air

   Air sangat berpengaruh dalam pembuatan beton, karena air akan bereaksi terhadap semen dan akan berpengaruh pada kekuatan beton. Air yang digunakan disarankan menggunakan air tawar karena jika mengandung bahan organis, minyak, alkali, garam akan mempengaruhi nilai kekuatan beton. Tidak hanya air tawar, air laut juga dapat dijadikan bahan penyusun beton, akan tetapi nilai kekuatan beton dapat berkurang 80%-90% saat beton sudah mengeras. Air tidak hanya sebagai bahan penyusun beton, tetapi air juga berfungsi untuk perawatan beton atau disebut *curing* dengan merendamkan beton ke dalam air.

5. Serat

   Berdasarkan ACI *Committee 544-2002* dalam serat beton yang baik untuk meningkatkan nilai kekuatan pada beton yaitu dari bahan baja, plastik, kaca, polimer organik, serat asbes, dan serat nabati. Secara umum dapat diklasifikasi menjadi empat kategori:

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

   Pada penelitian ini jenis serat yang digunakan yaitu serat berbahan plastik. Plastik sendiri memiliki bermacam-macam jenis sesuai dengan penggunaannya. Adapun jenis-jenis plastik sebagai berikut:

   1) *Polyethylene Terephthalate* (PET atau PETE)

      Plastik jenis ini biasa digunakan sebagai bahan botol plastik untuk air minum kemasan dan tidak memiliki bau atau warna. Plastik jenis ini hanya dapat digunakan sekali dan tidak baik apabila digunakan dengan air panas.

   2) *High Density Poluethylene* (HDPE)

      Bahan plastik ini merupakan bahan plastik yang aman dikarenakan memiliki kemampuan untuk mencegah reaksi kimia dan memiliki sifat bahan yang keras. Plastik jenis HDPE biasa digunakan sebagai bahan pemuat botol susu, galon air dan plastik belanja.

3) *Polyvinyl Chloride* (PVC atau V)

   Dibandingkan dengan jenis plastik lainnya, plastik jenis PVC termasuk jenis plastik yang sulit untuk didaur ulang. Hal ini dikarenakan plastik jenis PVC biasa digunakan pada pipa, mainan anak dan lantai vinyl.

4) *Low Density Polyethylene* (LDPE)

   Plastik jenis ini memiliki standar *food grade* yang baik untuk makanan atau minuman. Plastik LDPE mudah didaur ulang karena memiliki struktur kimia yang sederhana sehingga mudah untuk diproses. Sebagian besar plastik jenis ini digunakkan untuk bahan tas, bungkus roti, dll.

5) *Polystyrene* (PS)

   Plastik jenis PS ini biasa ditemukan pada wadah makanan dari *Styrofoam.* Plastik jenis ini tidak baik digunakan berulang kali karena reaksi kimia yang ditimbulkan dapat membahayakan jika tercampur dengan makanan dan minuman. Plastik PS sendiri termasuk dalam kategori plastik yang sulit terurai dengan tanah.

6) *Polycarbonate*

   Plastik jenis ini merupakan plastik yang dibuat dari berbagai macam plastik yang sudah disebutkan diatas. Plastik *polycarbonate* termasuk jenis plastik yang berbahaya karena mengadung zat BPA/BPS yang berbahaya bagi tubuh.

7) *Polypropylene* (PP)

   Plastik jenis ini mirip dengan plastik jenis PETE atau PET, karena memiliki kualitas yang lebih baik untuk makanan dan minuman. Plastik PP juga dapat menahan suhu panas dan tidak menimbulkan zat kimia sebanyak jenis plastik lainnya. Yang termasuk ke dalam jenis plastik PP adalah kemasan *yoghurt,* botol susu bayi, gelas kemasan air mineral dan wadah makanan antar.

   Serat berbahan *polypropylene* termasuk dalam kategori serat polimer. Penggunaan *polypropylene* sebagai bahan pengisi dan penguat memungkinkan memiliki mutu kimia yang baik sebagai serat dan

tahan terhadap pemecahan karena tekanan. Plastik berbahan PP ini juga memiliki tegangan yang rendah dan ketahanan benturan yang tinggi. Adapun sifat mekanik *polypropylene* sebagai berikut:

a. Kekuatan (*strength)*

   Dibandingkan dengan polimer yang lain, *polypropylene* memiliki kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan lebih tinggi.

b. Ketangguhan (*toughness)*

   Polimer ini memiliki ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi,tetapi ketahanan beban impaknya rendah.

c. Kekakuan (*stiffness)*

   Memiliki kekakuan yang cukup baik dan tidak mudah rusak.

2.4. Konsep Beton Serat

Menurut *ACI Committee 544*-1984 dalam Suhardiman (2011), beton serat diartikan sebagai beton yang bahan penyusunnya terdiri atas semen, agregat kasar, agregat halus dan sejumlah kecil serat atau *fibre*. Penambahan serat ke dalam campuran beton, baik buatan maupun alami berguna untuk menambah daktilitas beton, menambah nilai kuat tarik beton, meningkatkan ketahanan retak akibat sifat beton yang kurang baik dalam menahan kuat tarik yang mudah terfilterasi air yang mengurangi keawetan beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Prinsip dalam penambahan serat dalam beton adalah memberi tulangan pada beton tersebar rata secara acak untuk menghindari adanya retakan yang tidak sesuai rencana pada daerah tarik akibat pembebanan atau panas hidrasi (Soroushian dan Bayashi, 1987). Diharapkan dengan adanya penambahan material pada campuran beton meningkatkan nilai pembebanan yang dipikul oleh beton normal.

Di dalam Suhardiman (2011), pada beton serat terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu:

a. Kelecakan adukan beton

   Kelecakan pada campuran beton sangat berpengaruh pada sifat beton yang mudah dikerjakan atau *workability,* hal tersebut biasa dinilai dengan hasil uji *slump* pada campuran beton segar. Dengan adanya tambahan serat pada campuran beton, maka akan menurunkan nilai kelecakan campuran yang dapat dipengaruhi oleh:

   1. Aspek rasio serat *(fiber aspect ratio)* yang merupakan nilai banding antara diameter dan panjang serat. Aspek rasio serat memiliki batas maksimal yang masih memungkinkan dilakukan pengadukan campuran adalah $l_f/d_f < 100$ dengan nilai l_f dan d_f adalah panjang dan diameter serat. Apabila nilai rasio tinggi aka mengakibatkan kecenderungan serat untuk menggumpal dan sulit menyebar (Sudarmoko, 1991).
   2. Persentase jumlah serat yang ditambahkan pada campuran beton. Apabila persentase penambahan serat semakin tinggi, maka semakin berkurang nilai kelecakan dan sifat yang dapat dikerjakan oleh campuran beton.

b. Teknik pencampuran serat *(fiber dispertion)*

   Perlu diperhatikan dalam teknik pencampuran serat dalam adukan beton agar serat tersebar secara merata. Salah satu cara agar serat tersebar dengan merata yaitu dengan menggunakan agregat dengan memperkecil ukuran maksimum agregat. Menurut ACI *Committee,* batas maksimum ukutan agregat yang dapat digunakan yaitu sebesar 19 mm, dengan penggunaan ukuran agregat yang lebih kecil dapat memudahkan proses pengadukan dan memperbesar ruang untuk serat. Teknik pencampuran dilakukan dengan mencampurkan serat sedikit demi sedikit ke dalam campuran beton saat proses pengadukan berlangsung.

Menurut Purwanto (1999), serta ACI Committee 544-84, dalam Aditya (2021), untuk mengukur kelecakan pada beton serat dapat dilakukan dengan prosedur

inverted slump cone test dan *VB-test.* Uji *slump* pada umumnya memiliki nilai *slump* beton antara 25-100 mm dan berfungsi untuk mengendalikan konsistensi beton akibat adanya tambahan serat. Pengujian VB-*time* yang baik berkisar antara 5-25 detik.

Dengan adanya penambahan serat pada campuran beton, maka akan terjadi perbaikan pada beton seperti, meningkatkan daktilitas, meningkatnya ketahanan beton terhadap beban kejut, meningkatkan nilai kuat lentur dan kuat tarik, dan nilai penyusutan berkurang. Akan tetapi dari beberapa penelitian yang sudah ada, penerapan beton serat sendiri dapat menurunkan nilai kuat tekan pada beton apabila penambahan serat yang ditambahkan terlalu berlebihan atau nilai kuat tekan sendiri menurun akibat adanya serat dalalm campuran beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Hermansyah dkk (2019), penambahan serat baja pada perkerasan kaku menurun seiring dengan bertambahnya serat pada beton. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0%, 0,65%, dan 0,8% terhadap berat benda uji. Dari hasil penelitian, pada variasi penambahan 0,8% dengan 30,11 MPa, nilai kuat tekan menurun dibandingkan dengan variasi 0,65% dengan 35,23%. Penelitian yang dilakukan oleh Aditya (2021), penambahan serat kayu gelam pada campuran beton akan membuat nilai kuat tekan menurun seiring dengan penambahan serat. Variasi penambahan serat yang digunakan yaitu 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,6%. Hasil dari penelitian yaitu pada penambahan serat 0,2%, nilai kuat tekan mulai menurun hingga 2,51% dibandingkan dengan beton normal dengan nilai 33,86 MPa. Penyebab dari penurunan sendiri diakibatkan oleh tingkat kepadatan beton menurun akibat penambahan serat yang menyebabkan terdapat rongga udara pada beton. Penelitian Soebandono, dkk (2013) dimana serat plastik HDPE yang ditambahkan pada campuran beton mengalami penurunan nilai kuat tekan seiring bertambah jumlah serat pada beton. Variasi serat yang digunakan yaitu 0%, 10%, 15% dan 20%. Hasil dari penelitian yaitu pada penambahan serat 10%, nilai kuat tekan mulai menurun hingga 40,64% dengan nilai 15,67 MPa dibandingkan dengan beton normal. Salah satunya yaitu komposisi beton yang

kurang padat akibat terdapat rongga-rongga pada beton yang dihasilkan oleh serat itu sendiri.

2.4.1. Cara Kerja Serat pada Beton

Menurut Soroshian (1987) dalam Suhardiman (2011), terdapat penjelasan teori mengenai cara kerja serat pada beton sehinggat dapat memperbaiki sifat beton yaitu:

a. *Composit material concept*

   Konsep ini menjelaskan mengenai perkiraan kuat tarik dan kuat lentur beton dengan mengasumsikan material penyusun beton tercampur dan melekat secara sempurna. Konsep ini juga mengasumsikan perkiraan kuat tarik dan kuat lentur beton dengan memperkirakan kekuatan material komposit saat retak pertama muncul *(first crack strength).*

b. *Spacing concept*

   Dimana dijelaskan bahwa dengan meminimalisir jarak antar serat di dalam campuran beton dapat mencegah retakan menjadi lebih besar dan dapat membuat beton untuk membatasi ukuran retakan. Cara kerja serat pada beton akan lebih efektif apabila diletakkan secara seragam, berjajar, dan tidak *overlapping*. Pada keadaan sebenarnya, di dalam adukan beton, penyebaran serat sulit untuk diletakkan secara berjajar dan tidak tumpang tindih, akibatnya berpengaruh pada jumlah volume efektif yang dianggap 41% dari jumlah aslinya.

2.5. Landasan Teori

2.5.1. Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai kuat tekan beton dengan gaya maksimum, dapat dilihat saat beton mulai mengalami retakan. Nilai uji kuat tekan beton dapat ditentukan apabila berat isi (*unit weight)* >800 kg/m^3 (lebih besar), baik benda uji yang dicetak di lapangan maupun di

laboratorium (SNI 1974:2011). Perhitungan nilai uji kuat tekan beton dapat dihasilkan dengan melakukan pembagian antara beban maksimum yang diterima dengan luas penampang benda uji secara melintang. Ukuran benda uji memiliki tinggi 300 mm dan diameter 150 mm dengan bentuk silinder (ASTM C 39 dan SNI 1974:2011)

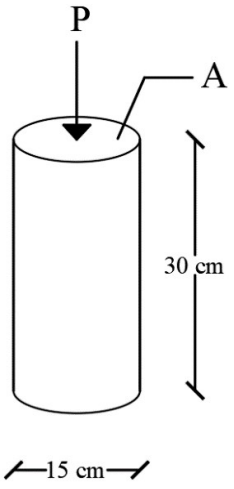
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas penampang silinder (mm^2)



Gambar 8. Benda uji kuat tekan beton.

2.5.2. Kuat Tarik Lentur Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan 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 4431:2011).

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. Berdasarkan ASTM C 78 dan SNI 4431:2011 nilai modulus keruntuhan dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b\,h^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

b. Untuk pengujian dimana bidang patahnya benda uji terletak di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_1 = \frac{3P\,a}{b\,h^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

keterangan:

σ_1 = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas (MPa)

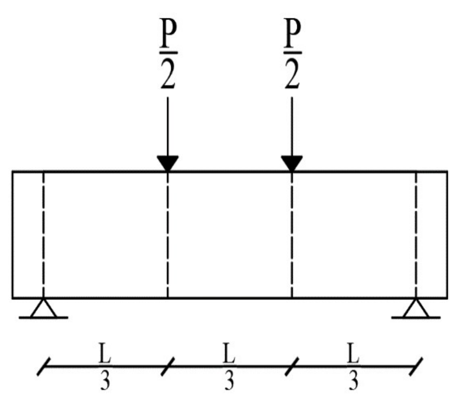
P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (N)

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

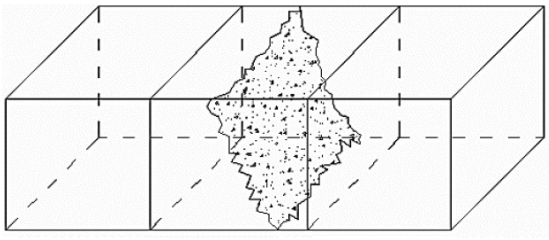
b = Lebar tampang lintang benda uji (mm)

h = Tinggi tampang lintang benda uji (mm)

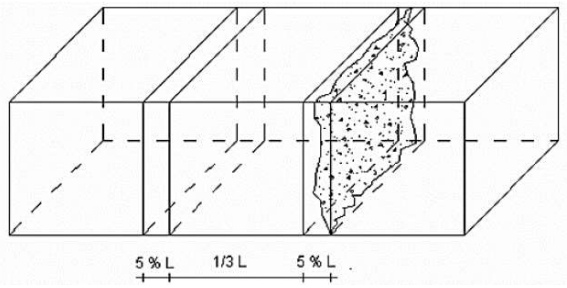
a = Jarak rata-rata antara garis retak dan tumpuan terdekat pada permukaan tarik balok (mm)



Gambar 9. Balok sederhana yang dibebani gaya P/2.



Gambar 10. Patah pada 1/3 bentang tengah (Persamaan 2).



Gambar 11. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang (Persamaan 3).

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, hal ini dapat dilihat pada diagram geser.

Untuk 1/3 bentang dari tumpuan

D $= \frac{1}{2}$ P ……...…….……..(4)

Untuk 1/3 bentang bagian tengah

D = 0 ……...…….……..(5)

Dengan pembebanan pada balok beton dengan tumpuan sederhana dan besarnya beban masing-masing adalah ½ P, maka momen maksimum pada balok beton sederhana ini terjadi pada 1/3 bagian tengah bentang, yaitu sebesar:

$$M = \frac{1}{6} PL \quad \text{.....(6)}$$

Keterangan:

M = Momen maksimum (Nmm)

D = Gaya lintang atau gaya geser (N)

P = Beban maksimum (N)

L = Bentang balok (mm)

2.6. Penelitian Terdahulu

Ridwan (2014), meneliti mengenai pengaruh penambahan cacahan gelas plastik *polypropelene* terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. Persentase jumlah plastik yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0%, 0,5%, 0,75%, 1%, dan 1,25% dari berat semen. Mutu beton yang digunakan pada penelitian ini yaitu K-225 dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk uji kuat tekan beton dan umur 28 hari untuk uji kuat tarik lentur beton. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari mengalami penurunan sebesar 4,98% pada penambahan campuran 0,5%, 14,76% pada penambahan campuran 0,75%, 16,21% pada penambahan campuran 1% dan 22,826% pada penambahan campuran 1,25% terhadap beton normal. Untuk uji kuat tarik lentur beton pada umur 28 hari mengalami kenaikan optimum sebesar 21,78% pada persentase campuran 0,5%. Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya serat pada campuran beton, berbeda dengan nilai kuat tarik lentur mengalami kenaikan terhadap beton normal.

Hidayatullah (2017), melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah botol plastik sebagai bahan serat pada beton. Penelitian ini menggunakan botol plastik berbahan *polyethylene terephthalate* (PET) dengan ukuran cacahan 1-3 mm dengan panjang 5 cm. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji kuat tekan, kuat tarik lentur dan uji kuat tarik belah dengan benda uji berbentuk silinder dan balok. Persentase serat yang digunakan yaitu 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, dan 1% dari volume agregat umur beton 28 hari. Dari hasil

penelitian, nilai uji kuat tekan mengalami kenaikan dan penurunan dari beton normal, nilai paling optimum didapatkan pada penambahan serat 0,6% dengan peningkatan 9,47% dari beton normal. Nilai kuat tarik lentur yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, nilai paling optimum terjadi pada penambahan serat 0,8% dengan kenaikan 39,53% dari beton normal.

Handayasari (2016), penelitian ini dilakukan dengan menambahkan serat plastik botol minuman terhadap agregat halus dengan variasi penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% mendapatkan hasil nilai kuat tekan yang paling optimum pada variasi 5% dengan peningkatan 0,8% dari beton tanpa serat dengan umur beton 28 hari. Pada nilai kuat tarik lentur mendapatkan hasil optimum pada variasi 5% dengan peningkatan 2,73% dari beton tanpa serat. Ukuran limbah plastik yang digunakan yaitu panjang 4 cm dan lebar 2 mm. Pengujian uji kuat tekan dilakukan pada beton umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, sedangkan uji kuat tarik lentur dilakukan pada beton umur 14 hari, 28 hari, dan 49 hari.

Vavidel *and* Doddurani (2013), melakukan penelitian dengan menggunakan serat plastik sebagai bahan tambah pada campuran beton. Penelitian ini menggunakan persentase jumlah serat 1%, 2%, dan 3% dari volume beton. Umur beton yang digunakan pada penelitian ini yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan pengujian kuat tekan, kuat tarik lentur, dan kuat tarik belah. Benda uji yang digunakan yaitu berbentuk kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm, silinder dengan ukuran 150 x 300 mm, dan balok dengan ukuran 100 x 100 x 500 mm. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan nilai uji kuat tekan rata-rata tertinggi pada persentase penambahan 3% pada umur 28 hari dengan 49,78 MPa. Jika dibandingkan dengan beton normal, nilai uji kuat tekan pada penelitian ini semakin naik seiring dengan bertambahnya jumlah serat pada campuran beton. Untuk nilai uji kuat tarik lentur, didapatkan nilai rata-rata tertinggi pada persentase penambahan 3% pada umur 28 hari dengan 5,06 MPa. Jika dibandingkan dengan beton normal, nilai uji kuat tarik lentur pada penelitian ini semakin naik seiring dengan bertambahnya jumlah serat pada

campuran beton.

Penelitian Soebandono, dkk (2013) dimana serat plastik HDPE yang ditambahkan pada campuran beton mengalami penurunan nilai kuat tekan seiring bertambah jumlah serat pada beton. Variasi serat yang digunakan yaitu 0%, 10%, 15% dan 20%. Penurunan nilai uji kuat tekan yang terjadi pada variasi 10% yaitu sebesar 40,64% dengan nilai 15,67 MPa dibandingkan dengan beton normal. Pada variasi 15% terjadi penurunan sebesar 43,19% dengan nilai 14,96 MPa dan pada variasi 20% terjadi penurunan kuat tekan tertinggi sebesar 57,10% dengan nilai 11,08 MPa. Hasil tersebut terjadi dikarenakan beberapa faktor. Salah satunya yaitu komposisi beton yang kurang padat akibat terdapat rongga-rongga pada beton yang dihasilkan oleh serat itu sendiri. Benda uji yang digunakan yaitu berbentuk kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm, silinder dengan ukuran 150 x 300 mm, dan balok dengan ukuran 100 x 100 x 500 mm. Pengujian uji kuat tekan dilakukan pada beton umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari,

III. METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis pada penelitian ini adalah studi eksperimental, yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah limbah plastik bekas gelas kemasan sebagai serat tambahan pada campuran beton. Metode perhitungan *mix design* 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

3.2.1. Benda Uji Beton

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Benda uji silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan, sedangkan untuk pengujian tarik lentur menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm. Pada penelitian ini terdapat 6 (enam) benda uji yang terdiri dari 3 (tiga) benda uji balok dan 3 (tiga) benda uji silinder untuk masing-masing volume fraksi dengan umur beton 28 hari.

Pada penelitian ini menggunakan volume fraksi 0%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% terhadap volume benda uji dengan serat limbah plastik bekas gelas kemasan yang dipotong ukuran seragam. Ukuran serat yang digunakan akan dijelaskan pada bagian 3.2.2. Bahan pada sub bagian serat. Untuk

mempermudah proses penelitian, penulis memberikan kode pada setiap benda uji yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Jumlah Benda Uji Silinder dan Kode Benda Uji

Volume Fraksi	0%	0,1%	0,3%	0,5%	0,7%	Jumlah
Kuat Tekan	O.T.0.1	O.T.0,1.1	O.T.0,3.1	O.T.0,5.1	O.T.0,7.1	5
	O.T.0.2	O.T.0,1.2	O.T.0,3.2	O.T.0,5.2	O.T.0,7.2	5
	O.T.0.3	O.T.0,1.3	O.T.0,3.3	O.T.0,5.3	O.T.0,7.3	5
Jumlah	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**15**

Tabel 8. Jumlah Benda Uji Balok dan Kode Benda Uji

Volume Fraksi	0%	0,1%	0,3%	0,5%	0,7%	Jumlah
Kuat Tarik Lentur pada Umur 28 Hari	O.TL.0.1	O.TL.0,1.1	O.TL.0,3.1	O.TL.0,5.1	O.TL.0,7.1	5
	O.TL.0.2	O.TL.0,1.2	O.TL.0,3.2	O.TL.0,5.2	O.TL.0,7.2	5
	O.TL.0.3	O.TL.0,1.3	O.TL.0,3.3	O.TL.0,5.3	O.TL.0,7.3	5
Jumlah	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**15**

3.2.2. 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 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 (*split)*

Agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dilakukan uji bahan terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, gradasi, dan berat volume agregat sesuai dengan ketentuan dan syarat pada ASTM. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian yaitu batu pecah dengan ukuran maksimum sebesar 19 mm.

d. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung. Penggunaan air dalam penelitian ini sebagai campuran beton untuk memicu reaksi kimiawi dari semen. Tidak hanya itu, air berguna untuk membasahi agregat dan memudahkan proses pekerjaan.

e. Serat

Serat yang digunakan pada penelitian ini berupa limbah plastik bekas gelas kemasan berbahan *polypropylene* atau PP. Indikator yang menyatakan limbah plastik yang digunakan berbahan *polypropylene* adalah terdapat pada logo gelas kemasan plastik yang digunakan pada penelitian ini. Gelas kemasan plastik yang digunakan sudah dicuci bersih dan dipotong menjadi ukuran yang direncanakan. Ukuran serat plastik yang digunakan yaitu memiliki panjang 4 cm dengan lebar 4 mm. Ukuran serat yang digunakan dipotong secara vertikal dari arah gelas kemasan. Dalam Rahmawati (2017), plastik *polypropylene* merupakan jenis bahan plastik ringan dengan massa jenis 0,901 gr/cm^3 atau 901 kg/m^3.

Penggunaan serat tersebut berdasarkan penelitian terdahulu yang rata-rata menggunakan panjang serat 4-5 cm dengan lebar 1-3 mm. Penulis mengambil ukuran tersebut agar dapat membandingkan ukuran yang efektif sebagai serat tambahan dalam campuran beton. Ukuran yang

diambil tidak terlalu panjang karena dikhawatirkan akan mengakibatkan penggumpalan pada proses pencampuran atau pengadukan beton.

3.2.3. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *Flexural testing frames standard beams*

Untuk melakukan pengujian kuat tarik lentur digunakan alat produk *Controls* untuk menguji balok beton, alat tersebut memiliki dua buah *roller* sebagai tumpuan balok yang mudah disesuaikan, dengan kapasitas maksimal beban sebesar 150 kN.

b. *Compression Testing Machine* (CTM)

Alat uji tekan merk *Controls* model C56B02, digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton silinder. CTM yang digunakan berkapasitas beban maksimum 3000 kN.

c. Cetakan benda uji

Penelitian ini menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebagai sampel pengujian kuat tekan dan cetakan berbentuk balok dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm digunakan sebagai sampel pengujian kuat tarik lentur beton.

d. Mesin pengaduk beton *(Concrete Mixer)*

Proses pencampuran material sebagai bahan penyusun beton menggunakan mesin pengaduk/*concrete mixer*, untuk memudahkan proses penelitian dan diharapkan pencampuran lebih merata sehingga beton yang dihasilkan maksimal. Spesifikasi alat yang digunakan ini memiliki kapasitas 0,125 m^3 dengan kecepatan 20-30 putaran per menit.

e. *Vibrator*

Vibrator digunakan sebagai alat pemadatan beton segar ketika adukan beton dituangkan ke dalam cetakan. Alat ini digetarkan dengan mesin dan

dimasukkan ke dalam beton segar yang baru saja dituang.

f. Bak perendam

Bak perendam air ini digunakan sebagai tempat perawatan beton selama sebelum proses pengujian beton dilakukan. Bak perendam yang digunakan berisi air bersih tawar dengan ukuran panjang 3 m, lebar 1 m, dan tinggi 0,5 m.

g. Kerucut abrams

Penggunaan kerucut abrams sebagai pengujian untuk mengetahui kelecakan (*workability*) beton sebagai parameter kemudahan pengerjaan dan pencampuran beton lebih padat. 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.

3.3. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

1. Persiapan bahan dan peralatan

   Persiapan bahan dilakukan dengan mempersiapkan material dan bahan sesuai dengan perencanaan. Untuk peralatan sendiri dibutuhkan pengecekan kembali agar kondisi peralatan dalam keadaan baik dan tidak mengganggu proses penelitian.

2. Pemeriksaan bahan campuran beton

   Tahap pemerikasaan bahan campuran beton dilakukan sesuai dengan syarat dan ketentuan pada ASTM. Pemeriksaan ini berfungsi untuk mengetahui apakah bahan sesuai dengan ketentuan ASTM atau tidak. Tujuan dari pemeriksaan bahan campuran beton ini yaitu untuk mendapatkan data rancangan campuran adukan beton. Adapun pemeriksaan bahan campuran beton sebagai berikut:

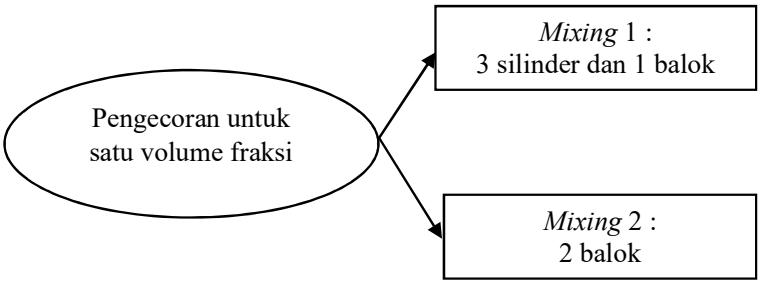
a. Pengujian agregat halus
    1. Kadar air agregat halus (ASTM C 566)
    2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128)
    3. Gradasi agregat halus (ASTM C 33)
    4. Kadar lumpur agregat halus dengan saringan (ASTM 117)
    5. Kandungan zat organik dalam pasir (ASTM C 40)
    6. Berat volume agregat halus (ASTM C 29)
b. Pengujian agregat kasar
    1. Kadar air agregat kasar (ASTM C 556)
    2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127)
    3. Gradasi agregat kasar (ASTM C 33)
    4. Berat volume agregat kasar (ASTM C 29)
c. Pengujian semen
    1. Berat jenis semen
    2. Waktu pengikatan semen

3. Pembuatan rencana campuran beton (*mix design*) dengan Metode ACI Committee 211. Perhitungan *mix design* sangat penting untuk mengetahui jumlah campuran semen, agregat, dan air yang akan digunakan. Nilai kuat tekan rencana yang digunakan yaitu 20,75 MPa.

4. Pembuatan benda uji

   Adapun tahap-tahap pembuatan benda uji antara lain;

   a. Pembuatan campuran adukan beton sesuai proporsi campuran hasil perhitungan beton serat. Proses pencampuran beton perlu diperhatikan agar menghasilkan keseragaman benda uji setiap volume fraksi. Setiap volume fraksi dibutuhkan 3 buah silinder dan 3 buah balok sehingga setiap volume fraksi dilakukan 2 kali pengecoran. *Mixing* pertama dibuat 3 buah silinder dan 1 buah balok, sedangkan *mixing* kedua dibuat 2 buah balok. Variasi penambahan serat gelas plastik bekas yaitu 0%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7%. Berikut gambaran pengecoran untuk satu volume fraksi (Gambar 12).



Gambar 12. Pengecoran untuk setiap volume fraksi.

1) Persiapan bahan campuran adukan beton

   Bahan-bahan campuran beton seperti semen, agregat kasar, dan agregat halus yang telah disiapkan sesuai dengan perhitungan, dilakukan pengecekan kembali agar kondisi material baik dan tidak mempengaruhi campuran lainnya.

2) Setelah bahan dipersiapkan, langkah selanjutnya yaitu pencampuran. Bahan-bahan yang telah dihitung sesuai dengan metode ACI Committee 544, 1993, dicampurkan dengan memasukkan agregat kasar dan sedikit air bila diperlukan. Kemudian dilanjutkan dengan menghidupkan mesin pengaduk, 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 plastik bekas gelas kemasan

   Proses penambahan serat limbah plastik bekas gelas kemasan dilakukan dengan menaburkan sedikit demi sedikit dan secara bertahap pada campuran beton. Hal ini dilakukan agar serat tersebar secara merata di dalam adukan beton dan tidak terjadi penggumpalan serat (*balling effect*). *Balling effect* sendiri 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) Kerucut Abrams (alat *slump test)* disiapkan dan diletakkan di atas meja getar *(VB-time)*. Campuran beton dimasukkan ke dalam kerucut abrams hingga 1/3 bagian, lalu dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 25 kali. Dilanjutkan dengan menambahkan campuran beton hingga 2/3 bagian dan dipadatkan kembali sebanyak 25 kali. Adukan ditambahkan hingga penuh kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali, lalu kerucut abrams diisi penuh hingga bagian atas dan diratakan.
2) Setelah itu kerucut abrams diangkat secara vertikal ke atas dan mengukur penurunan yang terjadi (nilai *slump*).
3) Hasil dari penarikan kerucut yang berupa adukan berbentuk kerucut terpancung ini digetarkan di dalam kontainer di atas meja getar hingga permukaan horizontal.
4) Waktu penggetaran yang diperlukan untuk proses tersebut dinamakan *VB-time.*

d. Pencetakan benda uji silinder dan balok

Pada pencetakan benda uji silinder dan balok, adapun tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

1) Mempersiapkan cetakan benda uji silinder dan balok.
2) Cetakan benda uji dioleskan oli.
3) Campuran beton yang sudah jadi dimasukkan ke dalam cetakan sampai penuh dan dipadatkan menggunakan *vibrator.* Fungsi dari *vibrator* ini agar campuran beton tidak mengalami segregasi.
4) Setelah dipadatkan, permukaan benda uji diratakan dan ditutup menggunakan plastik.
5) Beton kemudian dilepaskan dari cetakan setelah 24 jam.
6) Benda uji yang sudah dicetak diberi kode sesuai dengan keterangan yang telah ditentukan.

5. Perawatan terhadap benda uji (*curing)*

   Pada tahap ini bertujuan untuk menjaga benda uji agar terhidrasi dengan baik dan proses pengerasan dapat terjadi secara sempurna sehingga tidak menimbulkan retak-retak pada beton. Proses ini juga berfungsi untuk menjaga mutu beton agar sesuai dengan perencanaan. Perawatan benada uji dilakukan dengan perendaman benda uji balok dan silinder dalam bak air dengan suhu ruangan. Perendaman dilakukan selama 26 hari, dimana benda uji akan dikeluarkan dari proses *curing* satu hari sebelum pengujian.

6. Pelaksanaan pengujian

   Pada pelaksanaan pengujian, terdapat beberapa tahapan persiapan pengujian benda uji sebagai berikut:

   1) Benda uji yang telah selesai proses *curing* diangkat dari bak perendaman kemudian dibersihkan kotoran yang menempel pada permukaan beton.
   2) Benda uji yang sudah dibersihkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji.
   3) Setelah itu benda uji dilapisi dengan belerang *(capping)* untuk meratakan permukaan beton yang tidak rata.
   4) Benda uji siap diperiksa.

   Pelaksanaan pengujian kuat tekan dan kuat tarik lentur beton sebagai berikut.

   a. Uji kuat tekan beton

      Alat uji tekan yang digunakan yaitu CTM *(Compression Testing Machine)* yang digunakan berkapasitas beban maksimum 3000 kN dengan kecepatan pembebanan 0,14-0,34 MPa/detik. Pengujian kuat tekan terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

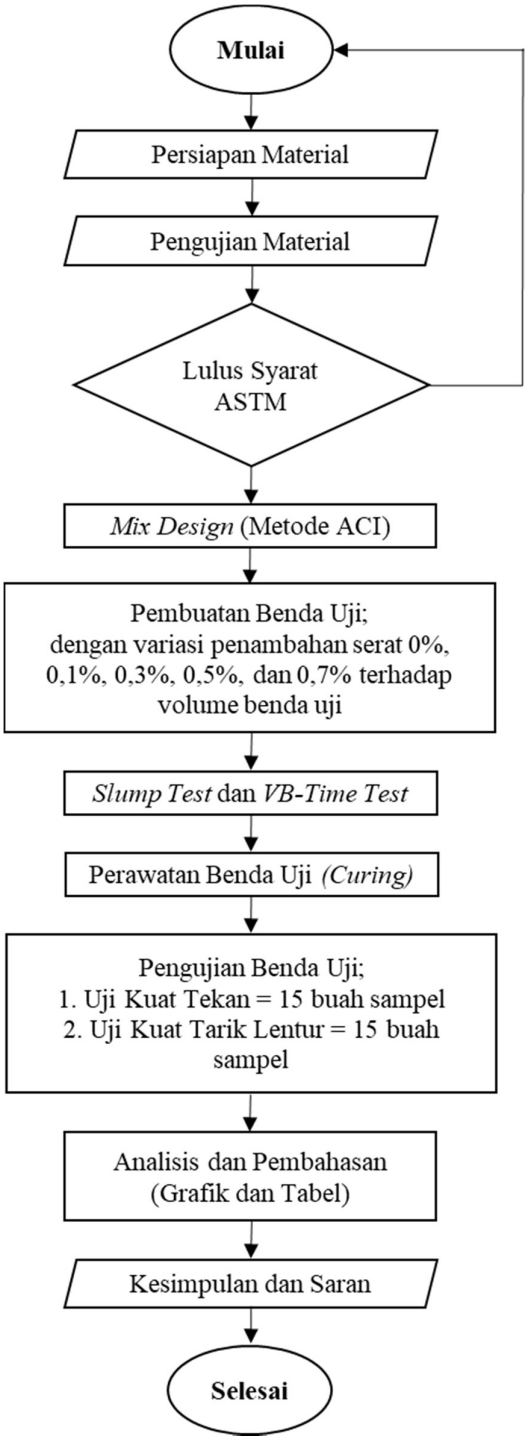
      1) Benda uji silinder diletakan pada mesin CTM secara sentris.
      2) Mesin tekan dihidupkan dengan penambahan beban yang konstan.
      3) Tahap pembebanan dilakukan hingga benda uji hancur.
      4) Setelah benda uji hancur, beban maksimum yang terjadi dicatat dan pola retak yang ada pada benda uji digambar.

b. Uji kuat tarik lentur

Pengujian ini menggunakan alat *flexural testing frames standard beams*. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari. Kuat lentur dianalisis dengan pembebanan balok tiap sepertiga bentang dengan beban titik 1/2P. Persiapan pengujian harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1) Mesin terdapat dua buah tumpuan dan blok beban yang dapat menyalurkan beban terpusat dan reaksi-reaksi tumpuan tegak lurus pada permukaan balok uji dengan garis kerja sejajar satu sama lain.
2) Meletakkan benda uji secara simetris pada kedua tumpuan.
3) Mulai memompa tuas hidrolik secara perlahan, kemudian beban alan turun secara perlahan-lahan sampai menempel pada bidang atas balok, dan memberikan tekanan beban.
4) Apabila terjadi retak utama pada bagian tengah bentang, benda uji dapat dikatakan mengalami keruntuhan lentur. Beban maksimum yang diperoleh dari momen lentur nominal penampang balok kemudian dicatat dan dianalisis.

3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 13. Diagram alur pelakasanaan penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai uji *slump* dan uji *VB-time*, semakin besar jumlah volume fraksi serat yang ditambahkan ke dalam campuran beton, maka tingkat kelecakan campuran beton akan semakin menurun.
2. Nilai kuat tekan akan semakin menurun seiring bertambahnya jumlah volume fraksi serat plastik. Nilai penurunan yang terjadi secara berurutan dari volume fraksi 0%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, dan 0,7% yaitu 25,73 N/mm^2, 25,18 N/mm^2, 22,79 N/mm^2, 19,52 N/mm^2, dan 19,28 N/mm^2.
3. Nilai kuat tarik lentur mengalami kenaikan dan penurunan seiring bertambahnya serat plastik. Nilai kuat tarik lentur mengalami kenaikan pada volume fraksi 0,1% sebesar 23,75% dibandingkan dengan beton normal dengan nilai 4,87 N/mm^2. Kemudian nilai kuat tarik lentur menurun berturut-turut dari volume fraksi 0,3%, 0,5%, dan 0,7% yaitu 4,69 N/mm^2, 4,04 N/mm^2, 4,09 N/mm^2.
4. Penambahan kadar serat yang paling optimal pada penelitian ini adalah 0,1% dari volume beton dan batas maksimal penambahan kadar serat dalam campuran beton adalah 0,3%.

5.2. Saran

Untuk mengembangkan kemampuan beton dengan serat plastik bekas gelas kemasan dalam menahan gaya luar yang bekerja, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dari tema penelitian ini. Berikut saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian mengenai pengaruh penambahan serat plastik bekas dengan berbagai jenis plastik dan *aspect ratio* yang berbeda.
2. Penelitian mengenai analisa bentuk patahan atau retakan yang terjadi pada beton serat plastik bekas gelas kemasan apabila diaplikasikan di lapangan.
3. Penelitian mengenai kuat kejut *(impact)* terhadap beton dengan penambahan serat plastik.
4. Penelitian mengenai kadar penambahan serat plastik paling optimum dalam batas 0%-0,3% untuk mengetahui volume fraksi yang memiliki nilai kuat tarik lentur dan nilai kuat tekan paling tinggi.
5. Penelitian mengenai kadar penambahan serat plastik paling optimum dalam batas 0,4%-0,5% untuk mengetahui volume fraksi yang memiliki nilai kuat tarik lentur dan nilai kuat tekan yang berada pada batas minimum nilai rencana.
6. Dalam penelitian untuk menentukan jumlah sampel, sebaiknya digunakan lebih dari 3 sampel uji untuk memperoleh data observasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Abdo, A. M. *and* Jung, S. J. 2019. *Evaluation of Enforcing Rigid Pavements with Plastic Waste Fibers. American University of Ras Al Khaimah, United Arab Emirate and Univeristy of Idaho, USA.* ISSN 1819-6608.

ACI Committee 211. 1991. *Standard Practic for Selecting Proportion Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.* ACI Journal. 2002. 1-38.

ACI Committee 318. 2004. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. United States. 318/318R.

ACI Committee 544. 1996. *Report on Fiber Reinforced Concrete.* ACI Journal. 2002. 1R-96.

Aditya, Y. G. 2021. *Pengaruh Penggunaan Semen PCC pada Kuat Lentur Perkerasan Kaku dengan Penambahan Serat Kulit Kayu Gelam pada Campuran Beton.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Ahmad, I. A., Taufieq, N. A. S., Aras, A. H. 2009. *Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton.* Universitas Negeri Makassar. Makassar. ISSN 0853-2982.

Alifuddin, A. 2011. *Uji Parameter Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton Kinerja Tinggi.* Univeristas Muslim Indonesia. Makassar. ISSN 1411-7797.

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 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 Tesnsile Strength of Cylindrical Concrete Speciment.* United States.

ASTM E178-02. 2002. *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations.* United States.

Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah. 2017. *Diktat Perkerasan Kaku.* Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.

Firdaus dan Jonbi. 2017. *Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Polypropylene (PP) Sebagai Campuran Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Tarik pada Beton Fc' 25 MPa.* Universitas Pancasila. Jakarta Selatan. J.Infras.3(2):81-89.

Handayasari, I. 2017. *Studi Alternatif Bahan Konsruksi Ramah Lingkungan dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Kemasan Air Mineral pada Campuran Beton.* STT-PLN. Jakarta Barat. Politeknologi Vol. 16 No. 1 Januari 2017.

Herdiawan. 2020. *Pengaruh Serat Kulit Kayu Gelam Terhadap Kuat Tarik Lentur Beton Pada Perkerasan Kaku Menggunakan Semen OPC.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Hermansyah, H., Siswanto, M. F., Saputra, A. 2009. *Tinjauan Hubungan Kuat Tekan dan Lentur Beton dengan Bahan Tambah Serat Baja untuk Perkerasan Kaku.* Universitas Gajah Mada. Daerah Istimewa Yogyakarta. Jurnal Tambora ISSN 2527-970X.

Hidayatullah, S. 2017. *Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Serat pada Beton.* Universitas Riau. Pekanbaru. Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2017. *Diklat Perkerasan Kaku.* Kementerian PUPR. Bandung.

Puja, N. 2020. *Pengaruh Penambahan Serat Baja dan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton.* Universitas Lampung. Bandar Lampung. Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain Vol. 8 No.3 2020.

Rahmawati, Anisa. 2017. *Perbandingan Penggunaan Polypropilene (PP) dan High Density Polyethylene (HDPE) pada Campuran Laston WC.* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Daerah Instimewa Yogyakarta. Media Teknik Sipil, ISSN 1693-3095.

Ridwan, F. F., Subrari, Yulius, E. 2014. *Pengaruh Penggunaan Cacahan Gelas Plastik Polypropylene (PP) Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton.* Universitas Islam 45. Bekasi. Jurnal BENTANG Vol. 2 No. 1 Januari 2014.

Saifudin, A., As'ad, S., Sunarmasto. 2015. *Pengaruh Dosis, Aspek Rasio, dan Distribusi Serat Terhadap Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Berserat Baja.* Universitas Sebelas Maret. Surakarta. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil/Juni 2015/369.

Sebayang, S. 2005. *Teknologi Bahan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Setiawan A., Philip, F. J., Permanasari, E. 2018. *Mechanical Properties of Waste Plastic Banner Fiber Reinforced Concrete.* Pembangunan Jaya University. Tangerang. e-ISSN 2180-3722.

SK SNI S-04-1989-F. 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Betonda untuk Bangunan Gedung.* Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

SNI 1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 2491. 2014. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

SNI 2847-2019. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 4431. 2011. *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan.* Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Soebandono, B., Pujianto, A., Kurniawan, D. 2013. *Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE.* Jurnal Ilmiah Semesta Teknika Vol 16, No. 1, Mei 2013.

Suhardiman, Mudji. 2011. *Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. Universitas Janabadra. Yogyakarta. Jurnal Teknik Sipil Vol. 1 No.2. ISSN 2088 – 3676.

Tenriajeng, Andi Tenrisukki. 1999. *Rekayasa Jalan Raya-2.* Gunadharma. Jakarta.

Tim Universitas Lampung. 2020. *Panduan Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Vavidel, T. S. *and* Doddurani, M. 2013. *An Experimental Study on Mechanial Properties of Waste Plastic Fiber Reinforced Concrete.* KPR Institute of Engineering and Technology. India. ISSN 2249-6149. Issue 3, Vol 2.

Vilanova, A., Landsberger, G. A., Gomez, J. F. 2011. *Evaluation pf the Mechanical Properties of Self Compacting Concrete Using Current Estimating*

Models: Estimating Modulus of Elasticity, Tensile Strength, and Modulus of Rupture of Self Compacting Concrete. Polytechnic University of Madrid. Spain. 3417-3426.