

TUGAS AKHIR

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG
DENGAN MENGGUNAKAN PLASTIK PET SEBAGAI
PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR**

***FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE
BEAM USING PET PLASTIC AS PARTIAL REPLACEMENT
OF COARSE AGGREGATE***

**ZULFADLI
D111 16 008**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☒ <http://civil.unhas.ac.id> ☒ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN
MENGUNAKAN PLASTIK PET SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN
AGREGAT KASAR**

Disusun oleh

ZULFADLI

D111 16 008

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

NIP: 197206192000122001

Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng.PM

NIP: 197303061998021001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wicardi Tjaronge, ST, MEng

NIP: 196805292001121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Zulfadli, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Plastik PET Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar"**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 20 April 2020

Yang membuat pernyataan,



ZULFADLI
NIM: D111 16 008

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul **“Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Plastik PET Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar”** ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton bertulang.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, dan Bapak **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak **Dr. M. Asad Abdurrahman, S.T., M.Eng., PM.**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Bapak **Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil, di Fakultas Teknik, di Universitas Hasanuddin.
7. Keluarga besar Lab. Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Unhas, Kak Hasbi, Kak Fahri, Andimus, Rifqi, Erli, Halima, Jijim, Dira dan

Masnia yang selalu saling membantu dan memberikan pengarahan di kehidupan laboratorium.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu Ibunda **Hasna** dan Ayahanda **Damang** atas doa, kasih sayang, motivasi dan segala dukungannya selama ini, baik moral maupun material yang telah diberikan.
2. Kak **Delifa Angriani A, S.T.**, dan **Andi Erli Maulina**, sebagai partner tim yang telah berjuang bersama selama proses penelitian berlangsung.
3. Untuk **Indra** sodara seperjuang yang selalu mendampingi dalam penyelesaian tugas akhir ini, teman mengurus 2 periode di HMS FT-UH dan sekaligus teman cerita, semoga kami bisa selalu sama-sama dalam meraih mimpi kami.
4. Para Moodbooster ku **Fauding, Aslam, Heru, Rizqi, Ilham, Sri, Pita, Kintan Ria, Bowo, Jordi, Ikwanul, Anse, Uqbah, Teguh**, dan **Mudhatsir** yang selalu saling membantu dan memberikan dorongan dalam mengarungi kehidupan kampus.
5. Teman-teman **PATRON 2017**, mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2016** yang telah memberikan warna tersendiri.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 20 April 2020

ZULFADLI
D111 16 008

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti agregat menjadi solusi masalah lingkungan. Limbah plastik dapat memperbaiki kinerja beton seperti ketahanan terhadap abrasi, beban impact, daktilitas, shock absorption, dan konduktivitas termal. Namun penambahan limbah plastik akan mengurangi sifat mekanik (kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas) pada beton. Kelemahan ini dapat diatasi dengan menambahkan serat baja berupa Dramix 3D 80/60. Penelitian terdahulu yang dilakukan menunjukkan bahwa persentase plastik PET yang optimum adalah 10% terhadap volume agregat kasar. Maka dari, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lentur balok beton serat yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti parsial agregat kasar. Dimensi balok adalah 150 mm x 250 mm dengan panjang 3300 mm. Jumlah benda uji adalah empat buah, yang dibagi atas dua variasi yaitu NB (balok normal), PB (balok beton serat dengan cacahan PET pengganti parsial kerikil). Pengujian kapasitas lentur dengan menggunakan dua titik pembebanan secara monotonic menunjukkan bahwa balok normal (BN) memiliki kapasitas lentur yang lebih besar dibandingkan dengan balok PET (PB). Pola retak semua benda uji memperlihatkan pola yang sama dengan bentuk pola retak lentur (*flexural crack*) yang memiliki retakan arah vertical terhadap sumbu utama balok dengan mode keruntuhan yang sama yaitu tulangan leleh terlebih dahulu sebelum beton runtuh (*under-reinforced*).

Kata Kunci: plastik PET, beton serat, perilaku lentur

ABSTRACT

The use of plastic waste as a substitute for aggregates is a solution to environmental problems. Plastic waste can improve concrete performance such as resistance to abrasion, impact loads, ductility, shock absorption, and thermal conductivity. However, the addition of plastic waste will reduce the mechanical properties (compressive strength, flexural strength, split tensile strength, and modulus of elasticity) in concrete. This weakness can be overcome by adding steel fibers in the form of Dramix 3D 80/60. Previous research has shown that the optimum percentage of PET plastic is 10% by volume of coarse aggregate. Therefore, this study aims to analyze the flexural behavior of fiber concrete beam using PET plastic waste as a partial substitute for coarse aggregate. The dimensions of the beam are 150 mm x 250 mm with a length of 3300 mm. The number of specimens is four, divided into two variations, namely NB (normal beam), PB (fiber concrete beam with shredded PET for partial replacement of crushed stone). Testing of flexural capacity by using two loading points monotonically shows that normal beam (NB) have a higher bending capacity than beam with PET (PB). The crack patterns of all specimens show the same pattern as the flexural crack pattern which has cracks in a vertical direction to the main axis of the beam with the same failure mode, namely the yield reinforcement before the concrete collapses or under-reinforced condition.

Keywords: *PET plastic, fiber concrete, bending behavior*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Penelitian Terdahulu	6
B. Beton Bertulang	8
C. Kapasitas Lentur Beton Bertulang	11
D. Pola Retak Beton	13
E. Kegagalan Pada Beton	15
F. Plastik	16
G. Dramix Steel Fiber.....	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	22
A. Rancangan Penelitian	22
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	23
C. Alat dan Bahan Penelitian	24
D. Benda Uji	28
D.1 Komposisi Bahan Campuran Beton	28
D.2 Benda Uji Balok	28

E. Prosedur Penelitian	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Pengujian Kuat Tekan Beton	34
B. Pengujian Kuat Tarik Tulangan	35
C. Hasil Analisa Balok Beton Bertulang.....	35
C.1 Kapasitas Momen	36
C.2 Hubungan Beban dan Lendutan	38
C.3 Hubungan Beban dan Regangan Beton	40
C.4 Hubungan Beban dan Regangan Baja.....	42
D. Pola Retak Benda Uji Balok	43
D.1 Benda Uji Balok Normal (BN).....	43
D.2 Benda Uji Balok PET (PB).....	44
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Contoh cacahan sampah plastik	7
Gambar 2. Perubahan diagram tegangan parabolik balok tegangan	13
Gambar 3. Jenis retakan pada beton	14
Gambar 4. Kode identifikasi resin	17
Gambar 5. Cacahan dan konsumsi plastik dunia 2016.....	20
Gambar 6. Tipe Dramix steel fiber	21
Gambar 7. Diagram alir penelitian	22
Gambar 8. Lokasi pengujian	23
Gambar 9. Alat uji pembebanan	24
Gambar 10. UTM dan compressometer.....	25
Gambar 11. LVDT 100 mm.....	25
Gambar 12. Strain gauge.....	26
Gambar 13. Perekat strain geuge	26
Gambar 14. Cacahan plastik PET dan serat baja	27
Gambar 15. Desain benda uji balok normal (NB).....	29
Gambar 16. Desain benda uji balok PET (PB).....	30
Gambar 17. Posisi strain geuge	30
Gambar 18. Perakitan bekisting dan tulangan	31
Gambar 19. Pengecoran benda uji	32
Gambar 20. Perawatan benda uji	33
Gambar 21. Pengujian benda uji.....	33
Gambar 22. Sketsa pengujian	36
Gambar 23. Grafik hubungan beban dan lendutan	39
Gambar 24. Grafik hubungan beban dan regangan beton.....	40
Gambar 25. Grafik hubungan beban dan regangan baja	42
Gambar 26. Gambar pola retak balok normal (NB).....	43
Gambar 27. Gambar pola retak balok PET (PB)	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi bahan campuran beton	28
Tabel 2. Variasi benda uji	29
Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton	34
Tabel 4. Hasil pengujian tarik tulangan	35
Tabel 5. Kapasitas momen dan beban.....	37
Tabel 6. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis dan eksperimen.....	37
Tabel 7. Hubungan beban dan lendutan	40
Tabel 8. Hubungan beban dan regangan beton	41

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Limbah plastik merupakan salah satu masalah serius bagi lingkungan yang banyak dihadapi oleh berbagai negara saat ini. Permasalahan yang dimaksud adalah dalam hal pengolahan dan penyediaan lahan pembuangan sampah akhir (TPA). Sifat plastik yang *non-biodegradable* (sulit diuraikan) menyebabkan plastik membutuhkan waktu 100 – 500 tahun agar dapat terurai secara sempurna. Penggunaan plastik yang terus mengalami peningkatan dari waktu ke waktu, menyebabkan jumlah limbah plastik pun ikut terus meningkat. Menurut Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Siti Nurbaya, Indonesia diperkirakan akan menghasilkan 9 juta ton sampah plastik di tahun 2019 dan total sampah plastik pada tahun 2017 sebanyak 65,8 juta ton. Sehingga, sangat penting untuk melakukan identifikasi solusi alternatif untuk menggunakan kembali (*reuse*) limbah plastik pada berbagai penggunaan. Untuk mengatasinya, para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan cara mendaur ulang limbah plastik. Namun cara ini tidaklah terlalu efektif. Hanya sekitar 4% yang dapat didaur ulang, sisanya menggenangi di tempat penampungan sampah. Sehingga diperlukan penanggulangan limbah plastik yang lebih efisien. Salah satu caranya adalah dengan

memanfaatkan limbah plastik menjadi agregat buatan dalam campuran beton.

Rita Irmawaty dkk (2019) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti agregat. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui perilaku mekanik pada beton serat yang menggunakan limbah plastik PET pengganti sebagian agregat. Metode yang digunakan adalah studi eksperimental dengan variasi kadar plastik PET sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap volume agregat kasar. Pengujian mekanik pada beton diperoleh bahwa semakin besar penambahan kadar plastik PET, maka semakin besar penurunan nilai kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Pertambahan kadar plastik PET menyebabkan workability beton menurun, sehingga perlu penambahan superplasticizer untuk memperbaiki workability beton. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa persentase PET 10% adalah presentase optimum.

Beton merupakan material yang sangat mendominasi bahan untuk konstruksi bangunan. Hal ini disebabkan pembuat beton mudah didapat, lebih murah, dan lebih praktis dalam pengerjaan serta mampu menahan beban yang besar. Meskipun memiliki kekuatan tekan yang tinggi, material beton memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga akan sangat mudah retak bahkan hancur saat ada tegangan tarik akibat beban. Untuk memberikan kekuatan tarik pada beton, maka digunakanlah tulangan baja pada bagian dalam beton, yang mampu memberikan

kekuatan tarik yang tak dimiliki beton. Sehingga beton berfungsi untuk menahan gaya tekan dan tulangan baja untuk menahan gaya tarik.

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, agregat dan bahan tambah untuk memperbaiki kinerjanya. Seiring dengan perkembangan infrastruktur yang pesat, material beton seringkali banyak diambil dari alam secara berlebihan tidak melihat dan lupa akan dampak yang ditimbulkan.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis merasa perlu melakukan penelitian pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti agregat pada beton bertulang dengan judul **“PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN PLASTIK PET SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR”**.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana kapasitas lentur pada balok beton bertulang yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar
2. Bagaimana pola retak pada balok beton bertulang yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk menganalisa perilaku lentur pada beton bertulang yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar.
2. Untuk membandingkan pola retak pada balok beton bertulang yang menggunakan limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi penggunaan limbah plastic PET pada balok beton bertulang.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan cacahan limbah plastik jenis PET 10%.
2. Penambahan Serat baja *Dramix 3D 80/60* sebesar 0.5% dari berat semen
3. Dimensi Balok beton bertulang adalah panjang 3300 mm, lebar 150 mm dan tinggi 250 mm

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, benda uji, dan prosedur penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijabarkan perilaku lentur beton, beban lendutan, dan pola retak beton.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Beton telah diidentifikasi sebagai salah satu alternatif yang layak dalam penanggulangan limbah plastik (Siddique dkk, 2008 dan Saikia dkk, 2012). Volume beton mengandung 65-80% agregat, sehingga penggunaan limbah plastik dalam beton sebagai pengganti agregat dapat mengurangi jumlah limbah secara signifikan. Hal ini sesuai dengan strategi dasar lingkungan, yaitu pencegahan sampah, pengolah kembali sampah, penyelamatan tempat pembuangan sampah, pengolah sampah menjadi sumber energi dan penghematan bahan baku (Bhardwaj, 2017). Di sisi lain, beton memiliki sifat yang terbatas, seperti kekuatan tarik rendah, daktilitas rendah dan penyerapan energi dampak rendah (Akcaozog dkk, 2010). Ada banyak komponen dan struktur beton yang terkena beban beturan, misalnya panel dinding, dek jembatan, perkerasan bandara dan pengaspalan jalan raya. Oleh karena itu, ketahanan yang tinggi terhadap beban dampak dan daya dukung beban diperlukan pada komponen struktur tersebut. Mohammadhosseini dkk (2018) melaporkan bahwa beton yang diberi serat memiliki kemampuan untuk mengatasi sifat getas pada beton. Selain itu, dengan penambahan serat plastik pada beton, dapat memberikan efek signifikan terhadap peningkatan beban dan kemampuan terhadap beban dampak.

Berbagai jenis plastik telah diteliti di beberapa tahun terakhir ini, yaitu *polyethylene terephthalate* (PET), *high-density polyethylene* (HDPE) dan

polypropylene (PP). Penelitian-penelitian tersebut fokus pada efek penambahan terhadap kemudahan pengerjaan beton segar dan perilaku mekanis beton keras (Cho dkk, 2005, Yazoghli dkk, 2005 dan Sobhan, 2002). Beberapa contoh cacahan sampah plastik ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh cacahan sampah plastik

Ismail dan Al Hasmi (2008) dalam penelitiannya menemukan bahwa apabila persentasi limbah plastik (terdiri dari 80% *polyethulene* dan 20% *polystyrene*) meningkat, *workability* meningkat dan kepadatannya menurun. Selain itu, Al-Manasser dan Dalal (1997) menyebutkan bahwa beton yang mengandung agregat plastik dari bumper mobil memiliki perilaku yang lebih daktail dibandingkan beton serupa yang dibuat dengan agregat konvensional. Perilaku daktail tersebut sangat penting dalam meminimalisir pembentukan retak pada struktur beton. Selain itu, kuat tekan dan kuat tarik belah beton juga akan menurun apabila jumlah plastik meningkat.

Rita Irmawaty dkk (2019) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti agregat. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui perilaku mekanik pada beton serat yang menggunakan

limbah plastik PET pengganti sebagian agregat. Metode yang digunakan adalah studi eksperimental dengan variasi kadar plastik PET sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap volume agregat kasar. Pengujian mekanik pada beton diperoleh bahwa semakin besar penambahan kadar plastik PET, maka semakin besar penurunan nilai kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Pertambahan kadar plastik PET menyebabkan workability beton menurun, sehingga perlu penambahan superplasticizer untuk memperbaiki workability beton. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa persentase PET 10% adalah presentase optimum.

B. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton. (Setiawan, 2016).

Beton bertulang saat ini merupakan pilihan struktur yang paling banyak dipakai dalam dunia konstruksi. Sistem konstruksi ini dirancang dari prinsip dasar desain dan penelitian elemen beton bertulang yang menerima gaya aksial, momen lentur, gaya geser, momen punter, atau kombinasi dari jenis gaya-gaya dalam tersebut. Prinsip dasar desain ini berlaku umum bagi setiap tipe sistem struktur selama diketahui variasi gaya aksial, momen lentur, gaya geser dan unsur gaya dalam lainnya, disamping konfigurasi bentang dan dimensi setiap elemen.

Beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal cukup mudah dipahami jika dilihat dari banyaknya kelebihan yang dimilikinya.

Kelebihan tersebut antara lain (McCormac, 2004):

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan yang lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
5. Dibandingkan dengan bahan lain beton memiliki usia layan yang sangat panjang. Dalam kondisi-kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapan pun tanpa kehilangan kemampuannya untuk menahan beban.
6. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding, *basement*, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan-bangunan semacam itu.
7. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk sangat beragam, mulai dari pelat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
8. Disebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit

semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.

9. Keahlian buruh untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti baja struktur.

Disamping kelebihan-kelebihan beton bertulang sebagai suatu bahan struktur, beton bertulang juga mempunyai berbagai kekurangan dan kelemahan. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain adalah (McCormac, 2004):

1. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Selain itu, penopang atau penyangga sementara mungkin diperlukan untuk menjaga agar bekisting tetap berada pada tempatnya, misalnya pada kolom, dinding, atap, dan struktur-struktur sejenis, sampai bagian-bagian beton ini cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
3. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat.
4. Rendahnya kekuatan persatuan volume akan mengakibatkan beton akan berukuran relatif lebih besar.
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi-campuran dan pengadukannya.

C. KAPASITAS LENTUR BETON BERTULANG

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (Mpa) gaya tiap satuan luas. Pada setiap penampang terdapat gaya-gaya dalam yang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus dan menyinggung terhadap penampang tersebut. Komponen-komponen yang tegak lurus terhadap penampang tersebut merupakan tegangan-tegangan lentur (tarik pada salah satu sisi pada sumbu netral dan tekan pada sisi penampang lainnya). Fungsi dari komponen ini adalah untuk memikul momen lentur pada penampang.

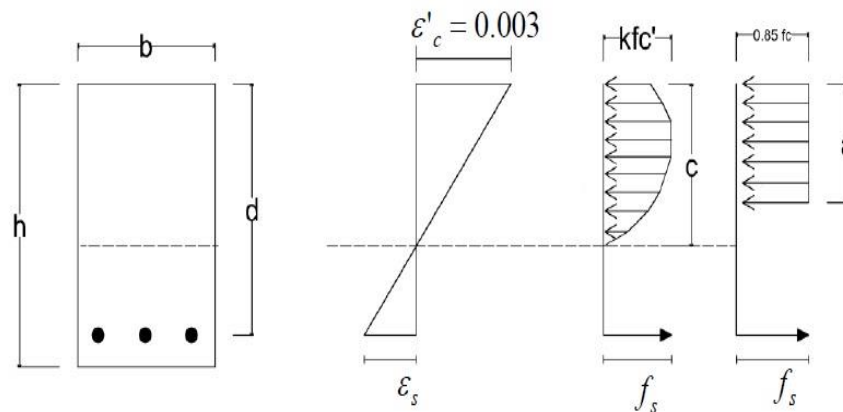
Balok beton bertulang akan melentur pada saat beban bekerja. Lentur pada balok-balok adalah akibat regangan deformasi yang disebabkan oleh beban eksternal. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut menahan regangan dan defleksi tambahan, mengakibatkan retak-retak lentur sepanjang bentang dari balok tersebut. Penambahan yang terus-menerus terhadap tingkat beban mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut.

Kajian analisis kapasitas lentur dilakukan dengan diketahui penampang beton, ukuran tulangan, kekuatan leleh dan besar gaya tarik tulangan pada saat putus, maka dapat ditetapkan kapasitas atau ketahanan penampang menerima gaya luar. Kuat tarik beton diabaikan, seluruh gaya tarik dipikul oleh tulangan baja yang tertarik. Distribusi tegangan tekan

beton dapat dinyatakan sebagai balok ekuivalen segi empat dan memenuhi ketentuan:

- a. Tegangan beton sebesar $0.85 f_c'$ distribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral dan berjarak a dari serat yang mengalami regangan 0.003, dengan $a = \beta_1 c$
- b. Besaran c adalah jarak dari serat yang mengalami regangan tekanan maksimal 0.003 kesumbu netral dalam arah tegak lurus terhadap sumbu itu
- c. Faktor β_1 nilainya sebesar 0.85 untuk mutu beton f_c' hingga 30 Mpa. Jika lebih maka nilai β_1 yang semula 0.85 direduksi 0.008 bagi setiap kelebihan tegangan 1 MPa ; namun tidak boleh kurang dari 0.65

Anggapan a menunjukkan bahwa distribusi tegangan tekan pada beton tidak lagi berbentuk parabola, melainkan sudah ekuivalen menjadi prisma segi empat. Bentuk distribusi ini tidak mempengaruhi besarnya gaya tekan, mengingat arah letak, dan besarnya gaya tidak berubah. Perubahan yang dilakukan adalah cara menghitung besarnya gaya tekan menggunakan blok persegi empat ekuivalen



Gambar 2. Perubahan diagram tegangan parabolic ke balok tegangan ekuivalen

Dari gambar besarnya momen nominal penampang menggunakan blok tegangan ekivalen adalah: $a = \beta_1 c$

$$C_c = 0.85 f'_c a b$$

$$T_a = A_s F_y$$

Dengan syarat kesetimbangan $C_c = T_a$ maka diperoleh $a = \frac{A_s F_y}{0.85 f'_c b}$

Mengetahui dimensi kualitas bahan, dan jumlah tulangan yang terpasang, kekuatan nominal kapasitas penampang M_{nk} dapat dicari dari kesetimbangan momen:

$$M_{nk} = A_s F_y \left(d - 0.59 \left[\frac{A_s F_y}{f'_c b} \right] \right)$$

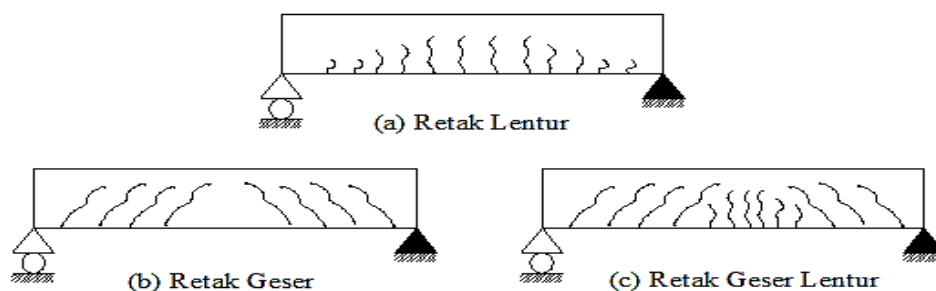
D. POLA RETAK BETON

Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja

tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok.
2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang di mana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.
3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi kerekatan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dan retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.



Gambar 3. Jenis retakan pada beton

Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari *modulus of rupture* beton $f_r = 0,70 \sqrt{f_c}$. Apabila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai f_r , maka retak kecil

akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari f_r , maka penampang akan retak.

Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

- a) Ketika tegangan tarik $f_t < f_r$, maka penampang dipertimbangkan untuk tidak terjadi retak. Untuk kasus ini $I_g = 1/12 b \cdot h^3$.
- b) Ketika tegangan tarik $f_t = f_r$, maka retak mulai timbul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung sebagai berikut: $M_{cr} = f_r \frac{I_g}{c}$, dimana $c = h/2$
- c) Apabila momen yang bekerja sudah lebih besar dari momen retak, maka retak penampang sudah meluas. Untuk perhitungan digunakan momen inersia retak (I_{cr}), transformasi balok beton yang tertekan, transformasi dan tulangan $n \cdot A_s$.

E. KEGAGALAN PADA BETON

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang. Ada 3 kemungkinan yang bisa terjadi yang menyebabkan kegagalan balok beton bertulang, yaitu (Nawy, Edward G. 2008):

a. Kondisi *balanced reinforced*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.

$$\text{Kondisi regangan : } \quad \varepsilon_c = 0,003 \quad \text{dan} \quad \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\text{Pada kondisi ini berlaku : } \quad \rho = \rho_{balanced} \quad \text{dan} \quad \varepsilon_s = \varepsilon_y$$

b. Kondisi *Over-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho > \rho_{balanced}$ dan $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

c. Kondisi *Under-Reinforced*

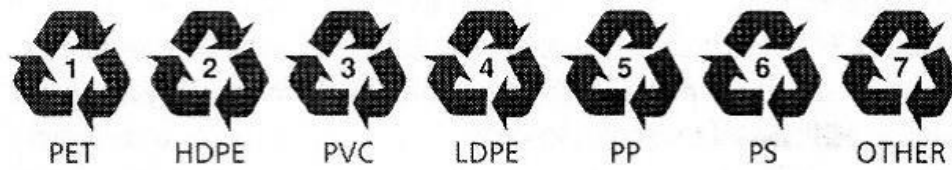
Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya.

Pada kondisi ini berlaku : $\rho < 75\% \rho_{balanced}$ dan $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi *under-reinforced*.

F. Plastik

Berdasarkan Kode Identifikasi Resin (*Resin Identification Code*), Plastik diklasifikasikan menjadi 7 jenis tingkatan (*grade*), yaitu mulai dari kode simbol **angka 1 hingga angka 7**. Setiap kode simbol angka tingkatan tersebut dikelilingi oleh tiga anak panah yang berbentuk segitiga, dibawah segitiga tersebut terdapat singkatan nama jenis plastik (Gambar 1). Kode-kode simbol tersebut biasanya dapat kita temukan di bagian bawah produk plastik.



Gambar 4. Kode Identifikasi Resin

F.1. PET (*Polyethylene Terephthalate*) atau Kode 1

PET atau PETE merupakan salah satu plastik yang sering digunakan sebagai wadah makanan. Plastik PET dapat kita temukan pada hampir semua botol air mineral dan beberapa pembungkus. Plastik ini dirancang untuk satu kali penggunaan saja. Jadi, jika digunakan berulang dapat meningkatkan resiko ikut terkonsumsinya bahan plastik dan bakteri yang berkembang pada bahan itu. Hal ini disebabkan jenis plastik PET ini sulit untuk dibersihkan dari bakteri dan bahan plastik PET dapat bersifat racun. Plastik ini sebaiknya didaur ulang dan tidak digunakan kembali.

F.2. HDPE (*High-Density Polyethylene*) atau Kode 2

Plastik HDPE merupakan jenis plastik yang biasanya digunakan untuk membuat botol susu, botol deterjen, botol shampo, botol pelembab, botol minyak, mainan, dan beberapa tas plastik. HDPE merupakan plastik yang paling umum didaur ulang dan dianggap plastik paling aman. Proses daur ulang plastik ini cukup sederhana dan tidak membutuhkan biaya banyak. Plastik HDPE ini sangat keras dan tidak mudah rusak karena pengaruh sinar matahari, panas yang tinggi, atau suhu yang dingin. Karena itu, HDPE digunakan untuk membuat meja piknik, tempat sampah, dan produk lain yang membutuhkan ketahanan terhadap cuaca.

F.3. PVC (*Polyvinyl Chloride*) atau Kode 3

Plastik PVC memiliki sifat lembut dan fleksibel. Plastik jenis ini biasa digunakan untuk membuat plastik pembungkus makanan, botol minyak sayur, dan mainan anak-anak seperti pelampung renang. Selain itu juga digunakan untuk membuat pipa plastik, dan komponen kabel komputer. PVC dikhawatirkan sebagai “plastik beracun” karena mengandung berbagai racun yang dapat mencemari makanan. Plastik ini juga sukar didaur ulang. Produk PVC sebaiknya tidak digunakan kembali sebagai pembungkus makanan.

F.4. LDPE (*Low-Density Polyethylene*) atau Kode 4

LDPE biasa ditemukan pada pembungkus baju, kantung pada layanan cuci kering, pembungkus buah-buahan agar tetap segar, dan pada botol pelumas. LDPE dianggap memiliki tingkat racun yang rendah dibandingkan dengan plastik yang lain. LDPE tidak umum untuk didaur ulang, jika didaur ulang plastik LDPE biasanya digunakan sebagai bahan pembuat ubin lantai.

F.5. PP (*Polypropylene*) atau Kode 5

Plastik PP bersifat kuat, ringan, dan tahan terhadap panas. Plastik PP mampu menjaga bahan yang ada di dalamnya dari kelembaban, minyak dan senyawa kimia lain. PP biasanya digunakan sebagai pembungkus pada produk sereal sehingga tetap kering dan segar. PP juga digunakan sebagai ember, kotak margarin dan yogurt, sedotan, tali, isolasi, dan kaleng plastik

cat. Plastik dari PP dianggap aman jika digunakan kembali dan dapat didaur ulang.

F.6. PS (*Polystyrene*) atau Kode 6

Polystyrene atau *styrofoam* merupakan plastik yang murah, ringan, dan mudah dibentuk. Plastik ini banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan. Biasanya plastik PS digunakan sebagai botol minuman ringan, karton telur, kotak makanan, dan pembungkus bahan yang akan dikirim dalam jarak jauh. Plastik PS ini mudah rusak dan rapuh, sehingga mudah terpotong-potong menjadi kecil dan mudah mencemari lingkungan. Senyawa styrene pada plastik polystyrene mungkin bisa lepas dari plastik tersebut dan jika dikonsumsi dapat memicu kanker dan gangguan sistem reproduksi.

F.7. Bahan Plastik Lain (*BPA, Polycarbonate, dan LEXAN*) atau Kode 7

Kategori plastik dengan kode 7 ini digunakan sebagai kode plastik dengan bahan selain bahan yang telah dipaparkan sebelumnya. Plastik ini biasanya digunakan untuk membuat aksesoris kendaraan, namun ada juga pabrik yang menggunakan plastik ini sebagai bahan baku botol minuman bayi dan pembungkus makanan. Penggunaan plastik ini sebagai botol minuman dan pembungkus makanan sangat tidak dianjurkan, karena salah satu zat penyusun plastik ini misalnya BPA (*Bisphenol A*) merupakan senyawa yang dapat mengganggu kerja hormon-hormon tubuh. Oleh karena itu sebaiknya menghindari penggunaan plastik yang memiliki kode 7 (tujuh) ini.



(a)



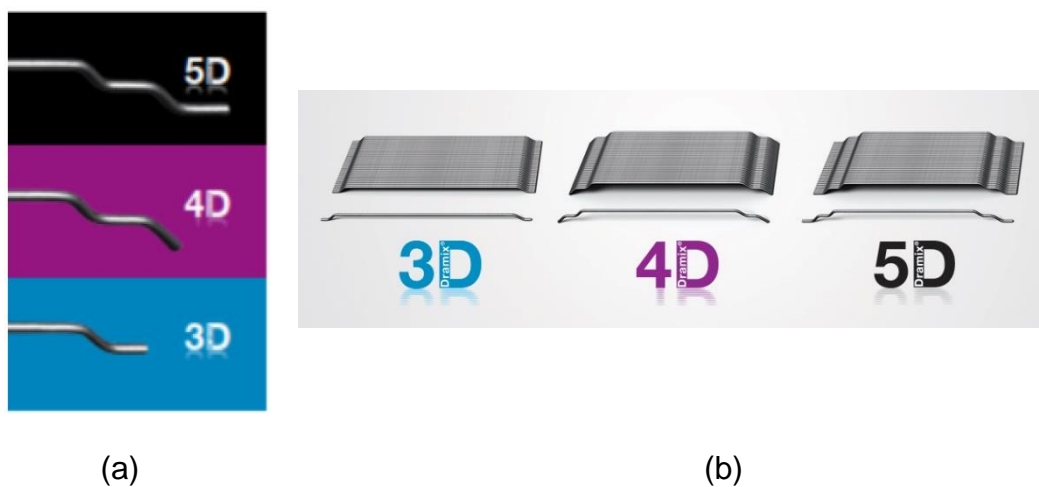
(b)

Gambar 5. (a) Cacahan plastik; (b) Konsumsi plastik dunia 2016

G. *Dramix Steel Fiber*

Dramix steel fiber adalah fiber baja yang diproduksi melalui proses penarikan dingin (*cold drawn*) dengan lekukan di ujung yang akan memberikan pengikatan yang optimal. Beton yang memiliki penulangan dengan steel fiber akan memberikan kelenturan (*ductility*) dan kemampuan menerima beban yang tinggi (*high load bearing capacity*). Selain itu juga

akan memberikan aplikasi yang cepat dan mudah serta memberikan solusi yang jauh lebih efektif dan ekonomis. Tersedia dalam beberapa tipe: 3D (kuat tarik 1225 -1345 MPa), 4D (kuat tarik 1500 MPa) dan 5D (kuat tarik 2300 MPa). 3D 80/60BG (aspect ratio 80, panjang 60 mm & diameter 0.75 mm); 3D 65/35BG (aspect ratio 65, panjang 35 mm & diameter 0.55 mm); 4D 65/60BG (aspect ratio 65, panjang 60 mm & diameter 0.90 mm) dan 5D 65/60BG (aspect ratio 65, panjang 60 mm & diameter 0.90 mm). Detail *Dramix steel fiber* berdasarkan tipenya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 6. (a) Perbandingan ujung *Dramix* tiap jenis; (b) Jenis-jenis *Dramix steel fiber*