



**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT PLASTIK PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA BETON NORMAL
TERHADAP KUAT LENTUR**

SKRIPSI

Oleh
Ahmad
NIM 131910301093

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT PLASTIK PET
(*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) PADA BETON NORMAL
TERHADAP KUAT LENTUR**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Ahmad

NIM 131910301093

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2017

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda tercinta Rosyidah Hidayah dan ayahanda Ali Al-katiri yang selalu memberikan do'a, kasih sayang dan dukungannya yang tidak terhitung banyaknya hingga saat ini;
2. Saudaraku tersayang Firdaus dan Rayyan serta keluarga yang telah memberikan semangat dan juga bantuan;
3. Guru – guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Keluarga besar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil angkatan 2013 “Paku Payung”
5. Almamaterku tercinta, UNIVERSITAS JEMBER

MOTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah, 6 – 8)

“Percayalah bahwa ilmu lebih baik dari pada harta, karena ilmu itu menjaga dirimu sedangkan kamu menjaga harta kamu. Dan ingat, bahwa harta itu berkurang bila kamu belanjakan, sedangkan ilmu bertambah jika kamu memanfaatkan.”

(Ali bin Abi Talib)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ahmad

NIM : 131910301093

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Penambahan Serat Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Pada Beton Normal Terhadap Kuat Lentur” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 3 Juli 2017

Yang menyatakan,

Ahmad

NIM 131910301093

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT PLASTIK PET
(*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) PADA BETON NORMAL
TERHADAP KUAT LENTUR**

Oleh
Ahmad
NIM 131910301093

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Penambahan Serat Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Pada Beton Normal Terhadap Kuat Lentur” Ahmad, NIM: 131910301093 telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis., 13 Juli 2017

tempat : Ruang 2 Gedung B Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.NIP.
NIP. 19731015 199802 1 001

Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NRP. 760014641

Tim Penguji:

Penguji 1,

Penguji 2,

Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T
NIP. 19700530 199803 2 001

Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc
NRP. 760015715

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Penambahan Serat Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Pada Beton Normal Terhadap Kuat Lentur; Ahmad., 131910301093; 2017: 71 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Limbah plastik merupakan masalah serius yang dihadapi saat ini. Plastik merupakan bahan yang sulit untuk diuraikan oleh bakteri pengurai dalam tanah. bakteri pengurai setidaknya membutuhkan waktu yang sangat lama untuk dapat menguraikan plastik yang tertimbun dalam tanah. Oleh karena itu, limbah plastik juga harus dimanfaatkan untuk meminimalisirkannya. Salah satu cara untuk mengurangi limbah plastik tersebut dengan cara memanfaatkannya sebagai bahan tambah pada bahan utama penyusun beton. Pemanfaatan tersebut dikarenakan plastik merupakan bahan anorganik yang tidak dapat membusuk maka mungkin saja dapat bekerja optimal seperti bahan penyusun beton lainnya. Tingkat regangan pada Plastik PET juga terbilang baik. Dari pencampuran plastik tersebut diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton.

Salah satu penggunaan limbah plastik pada beton adalah dengan menjadikannya sebagai serat. Penggunaan serat plastik diharapkan dapat meningkatkan kuat lentur pada beton. selain untuk meningkatkan kuat lentur beton, serat pada beton berfungsi agar beton tidak mengalami keretakan pada saat proses pengerasan. Pada penelitian ini, serat plastik dipotong menyerupai serat memanjang. *Mix design* yang digunakan untuk menentukan prosentase material dasar dilakukan perhitungan berdasarkan SNI 03-2834-2000. Pengujian meliputi kuat tekan dan kuat lentur. Pengujian kuat tekan dilakukan sebatas hanya untuk kontrol *mix design* yang direncanakan. Penambahan serat plastik dilakukan setiap sepertiga dari tinggi cetakan dengan cara meletakkannya secara memanjang. Setelah beton dicetak maka langkah selanjutnya yaitu proses curing hingga beton berumur 28 hari. Setelah beton berumur 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat lentur beton dengan penambahan serat plastik.

Pada penggunaan limbah plastik tersebut rata – rata kuat lentur beton mengalami penurunan kekuatan seiring dengan penambahan limbah botol plastik PET pada beton, hal ini dikarenakan semakin banyak penambahan plastik PET pada beton daya rekat khususnya didaerah sekitar penambahan plastik PET tersebut mengalami penurunan. Berdasarkan hasil uji kuat lentur, variasi dan prosentase yang paling optimal dalam meningkatkan kuat lentur adalah penambahan PET dan resin sebanyak 0,3% yang mampu meningkatkan kuat lentur beton sebanyak 51.78% dibandingkan dengan yang tanpa penambahan serat plastik. Model keruntuhan yang terjadi pada semua variasi benda uji yaitu keruntuhan lentur dikarenakan retakan beton terjadi pada daerah tengah bentang dan searah tegak lurus sumbu balok.

SUMMARY

The Effect of PET (*Polyethylene Terephthalate*) Plastic Fibers in Flexural Strength Normal Concrete; Ahmad., 131910301093; 2017: 71 pages; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Plastic waste is a serious problem faced today. Plastic is a material that is difficult to decipher by the soil decomposer. Decomposers at least take a very long time to be able to decompose the plastics buried in the soil. Therefore, plastic waste must also be utilized to minimize it. One way to reduce plastic waste by using it as an additive to concrete. This is because the plastic is an inorganic material that can not rot, then it may be able to work optimally like other concrete materials. The level of strain on PET Plastic is also good. Using PET plastic is expected to increase the strength of concrete.

One of use plastic waste in concrete is to make it as a fiber. The use of plastic fibers is expected to increase the flexural strength in the concrete. In addition to increasing the flexural strength of concrete, the fiber on the concrete serves to prevent the concrete from crack during the process of hardening. In this research, plastic fibers were cut to longitudinal fibers. Mix design used to determine the percentage of basic material is calculated based on SNI 03-2834-2000. Tests include compressive strength and flexural strength. The compressive strength test is limited only for mix design control. The addition of plastic fibers is placed every third of the mold's height by placing it elongated. After that is curing process until the concrete is 28 days old for flexural strength test.

In the use of plastic waste, the average strength of flexural strength has decreased along with the addition of PET plastic in concrete, this is because addition PET plastic in large quantities can decreased bond strength especially in the area around the addition of PET plastic. Based on the result of flexural strength test, the most optimum variation is the addition of 0.3% PET plastic and resin which can increase the flexural strength of concrete by 51.78% compared without the addition of plastic fiber. The collapse model that occurs in all test specimen variations is the

flexural collapse due to concrete cracks occurring in the middle area of the span and in the direction perpendicular to the axis of the beam.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penggunaan Limbah Plastik Daur Ulang sebagai Pengganti Agregat Halus pada Beton SCC (Self Compacting Concrete)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik;
2. Ir. Hernu Suyoso, M.T., selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik;
3. Dwi Nurtanto, S.T., M.T., dan Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. dan Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc. selaku dosen penguji;
5. Dr. RR. Dewi Junita Koesoemawati, ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Moch. Akir selaku penata laboratorium Struktur dan Material Konstruksi yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu mendampingi dalam pengujian benda uji;
7. Teman – teman teknik sipil angkatan 2013 “Paku Payung” yang selalu menemani dan berjuang bersama dari semester pertama hingga akhir;
8. Sahabatku Moch. Iwan Darmawan, Khafifi Arif Ma’sum, Tyan Laksana, Rahma Istiqomaria, Musthofin Alakhyar Faqih, Ahmad Faizin, Eko Priyo Purnomo;
9. Sahabat seperjuangan penelitian beton Dany Rahmatullah, Moh. Nanang Lutfian, Ahda Widya Trinanda, Busthomi Irsyadur Ridlo, Tedy Pranadiarso, Moh. Fahad Kustantiyo, Roby Siswanto P., Muh. Lukman Abadi;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 3 Juli 2017

Penulis



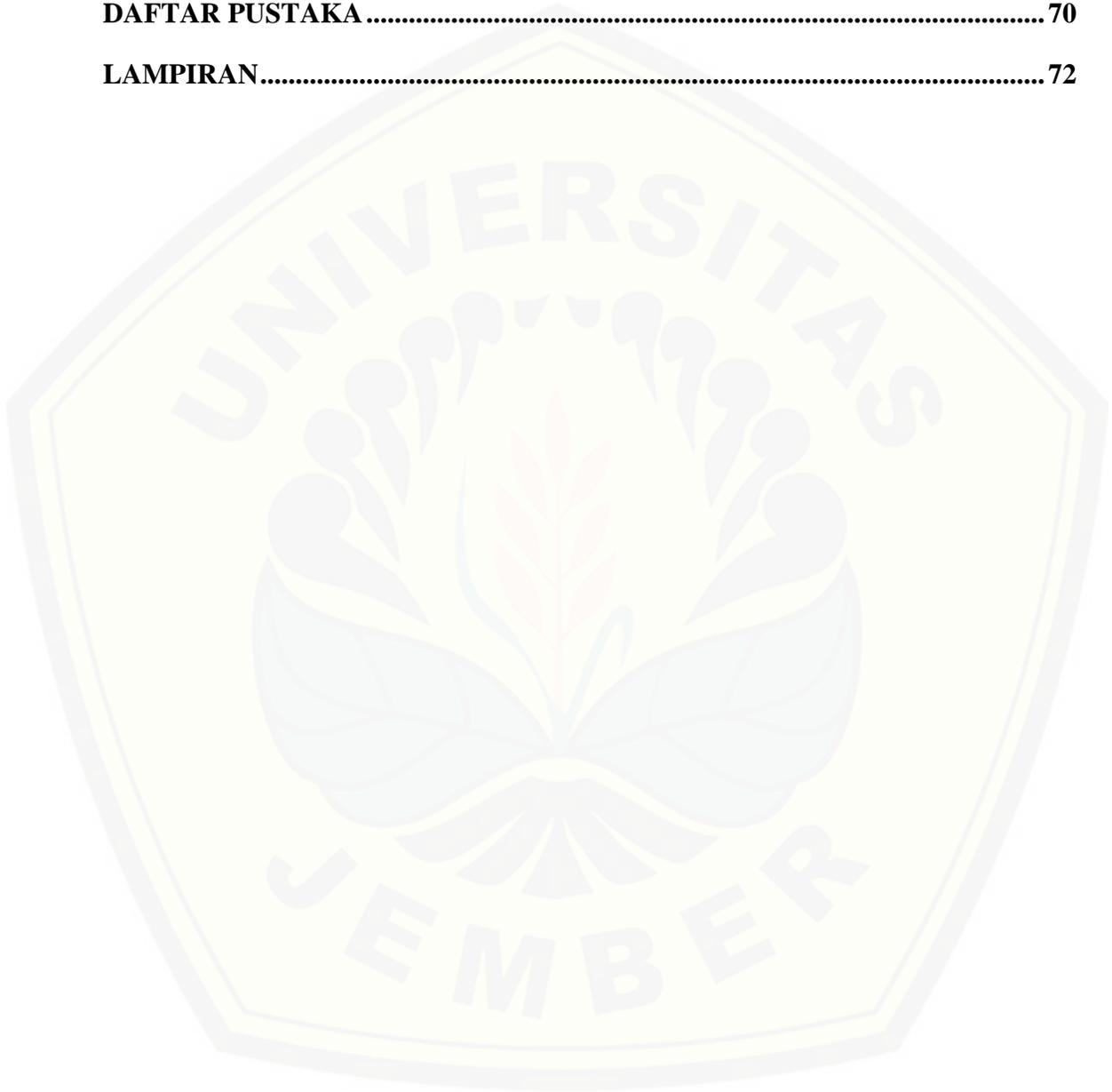
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUTAN	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN ENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Deskripsi Beton	6
2.3. Serat Plastik.....	8

2.3.1. Kode Daur Ulang Plastik.....	8
2.3.2. Karakteristik Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>).....	11
2.4. Resin Epoxy	11
2.5. Air.....	13
2.6. Semen.....	14
2.7. Agregat.....	14
2.7.1. Agregat Kasar	14
2.7.2. Agregat Halus.....	15
2.8. Beton Serat.....	15
2.9. Mix Design.....	15
2.10. Analisis Perilaku Balok Beton	16
2.10.1. Tegangan Normal pada Balok.....	16
2.10.2. Model Keruntuhan Balok Beton Bertulang.....	16
2.10.3. Geser pada Beton.....	20
2.11. Kontrol Kinerja Pelaksanaan.....	21
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	23
3.1. Studi Literatur	23
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.3. Metode Penelitian.....	23
3.4. Alur Penelitian.....	25
3.5. Alat dan bahan.....	26
3.5.1. Bahan.....	26
3.5.2. Alat	26
3.6. Pengujian Material	28

3.6.1. Pengujian Semen	28
3.6.2. Pengujian Agregat Halus	29
3.6.3. Pengujian Agregat Kasar	32
3.7. Jumlah dan Tata Letak PET	35
3.8. Perawatan Benda Uji	38
3.9. Uji Kuat Tekan	39
3.9.1. Prosedur Pengujian	39
3.9.2. Perhitungan	40
3.10. Uji Kuat Lentur	42
3.10.1. Prosedur Pengujian	42
3.10.2. Perhitungan	43
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Pengujian Material	44
4.1.1. Pengujian Agregat Halus	44
4.1.2. Pengujian Agregat Kasar	47
4.2. Perhitungan <i>Mix Design</i> Benda Uji	50
4.3. Pengujian Slump	51
4.4. Tata Letak Plastik PET Saat Pengecoran	53
4.5. Pengujian Benda Uji	53
4.5.1. Pengujian Kuat Tekan	53
4.5.2. Pengujian Kuat Lentur	54
4.6. Analisis Terhadap Keruntuhan Tekan Akibat Geser dan Lentur	57
4.6.1. Perhitungan Keruntuhan Tekan Akibat Geser	58
4.6.2. Perhitungan Keruntuhan Akibat Lentur	58

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	72



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Data Perbandingan Tegangan dan regangan tarik PET	11
Tabel 2.2. Nilai koreksi Standard deviasi	22
Tabel 3.1. Rod Map Penelitian.....	23
Tabel 3.2. Pengujian Kuat Tekan.....	23
Tabel 3.3. Pengujian Lentur	24
Tabel 3.4. Jumlah dan Tata Letak PET	36
Tabel 4.1. Analisa Saringan Pasir	44
Tabel 4.2. Kelembaban Pasir	45
Tabel 4.3. Berat Jenis Pasir	46
Tabel 4.4. Kadar Air Resapan Pasir	46
Tabel 4.5. Berat Volume Pasir	46
Tabel 4.6. Kadar Lumpur Pasir	47
Tabel 4.7. Analisa Saringan Kerikil.....	47
Tabel 4.8. Kelembaban Pasir	48
Tabel 4.9. Berat Jenis Kerikil.....	49
Tabel 4.10. Kadar Air Resapan Kerikil.....	49
Tabel 4.11. Berat Volume Kerikil.....	49
Tabel 4.12. Kadar Lumpur Kerikil.....	50
Tabel 4.13. Rencana <i>Mix Design</i>	50
Tabel 4.14. Proporsi Campuran per m ³	51
Tabel 4.15. Proporsi Campuran per benda uji	51
Tabel 4.16. Pengujian Slump	52
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Kuat Tekan	53
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Kuat Lentur.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik Hubungan Kuat Lentur Beton dengan Konsentrasi Cacahan Plastik HDPE dalam Beton pada Umur 7 Hari (Sumber: Sina dkk, 2012)	5
Gambar 2.2. Distribusi Regangan Penampang Balok (Sumber:Nawy,1990)	17
Gambar 2.2. Perilaku lentur pada beban kecil (Sumber:Dipohusodo,1999)	18
Gambar 2.3. Perilaku lentur pada beban sedang (Sumber:Dipohusodo,1999)	18
Gambar 2.4. Perilaku lentur dekat beban ultimit (Sumber:Dipohusodo,1999)	19
Gambar 2.5. Blok tegangan ekuivalen (Sumber: Dipohusodo,1999)	20
Gambar 3.1. Letak Plastik PET pada Beton	24
Gambar 3.2. Diagram Flow Chart penelitian	25
Gambar 3.3. Skema pengujian kuat lentur	43
Gambar 4.1. Zona Analisa Saringan Pasir	45
Gambar 4.2. Zona Analisa Saringan Kerikil	48
Gambar 4.3. Tata Letak Plastik PET Saat Pengecoran	53
Gambar 4.4. Kuat Lentur dengan Penambahan PET	56
Gambar 4.5. Kuat Lentur dengan Penambahan PET + Resin	56
Gambar 4.6. Kuat Lentur dengan Penambahan PET + Resin + Pasir	57
Gambar 4.7. Retakan dan distribusi tegangan PET 0,4%	59
Gambar 4.8. Retakan dan distribusi tegangan PET 0,6%	61
Gambar 4.9. Retakan dan distribusi tegangan PET + Resin 0,4%	62
Gambar 4.10. Retakan dan distribusi tegangan PET + Resin 0,6%	64
Gambar 4.11. Retakan dan distribusi tegangan PET + Resin + Pasir 0,4%	65
Gambar 4.12. Retakan dan distribusi tegangan PET + Resin + Pasir 0,6%	66

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah plastik merupakan masalah serius yang dihadapi saat ini. Plastik merupakan bahan yang sulit untuk diuraikan oleh bakteri pengurai dalam tanah. bakteri pengurai setidaknya membutuhkan waktu yang sangat lama untuk dapat menguraikan plastik yang tertimbun dalam tanah. Jika hal ini tetap dibiarkan saja maka tumpukan limbah plastik tersebut dapat mencemari lingkungan. Selain itu plastik juga dapat membahayakan bagi tanah karena plastik mengandung zat kimia berbahaya yang dapat membunuh bakteri pengurai. Selain berbahaya terhadap lingkungan, limbah plastik juga berbahaya bagi kesehatan manusia, dapat menyebabkan banjir jika tertumpuk di saluran drainase, dan juga dapat merusak keindahan lingkungan.

Dari masalah limbah plastik di atas, Indonesia termasuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil sampah ke laut setelah Tiongkok. Jumlah total sampah di Indonesia mencapai sebesar 187,2 juta ton dan 14 persen diantaranya adalah plastik (Wahyuni, 2016). Jumlah sampah di Jember juga terbilang banyak. Di TPU Pakusari, Kabupaten Jember, volume sampah keseluruhan sekitar 600 meter dan jumlah tersebut akan terus meningkat. Dari total sampah tersebut, 13,6 persen diantaranya adalah limbah nonorganik yang meliputi plastik, karet, besi, kaca dan kain (Susilo, 2016).

Dari jumlah sampah tersebut hendaknya mencari solusi lain terkait masalah limbah plastik yang semakin meningkat. Pendaaurulangan limbah plastik masih terbilang tidak cukup. Oleh karena itu, limbah plastik juga harus dimanfaatkan untuk meminimalisirkannya. Salah satu cara untuk mengurangi limbah plastik tersebut dengan cara memanfaatkannya sebagai bahan tambah pada bahan utama penyusun beton. Pemanfaatan tersebut dikarenakan plastik merupakan bahan anorganik yang tidak dapat membusuk maka mungkin saja dapat bekerja optimal seperti bahan penyusun beton lainnya. Dari pencampuran plastik tersebut diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton.

Penelitian tentang penambahan plastik sebagai bahan tambah pada beton yaitu dengan menambahkan cacahan gelas plastik polypropylene (PP) pada campuran beton. cacahan plastik divariasikan dengan penambahan sebesar 0,00%, 0,50%, 0,75%, 1,00%, dan 1,25% terhadap berat semen. Dari pengujian kuat tekan dilakukan pada 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian kuat tarik dilakukan pada umur 28 hari. dari pengujian tersebut didapat kuat tekan optimum sebesar $264,006 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari dengan penambahan plastik 0,00%. Sedangkan kuat tarik optimum didapat sebesar $24,264 \text{ kg/cm}^2$ dengan penambahan sebanyak 0,50% (Chandra,2008).

Penelitian terkait lainnya yaitu penambahan plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) pada beton normal. Penambahan HDPE pada beton normal dengan ukuran panjang maksimum 150 mm dan lebar maksimum 10 mm. penambahan plastik HDPE divariasikan dengan variasi penambahan 0%, 0,50%, 0,70%, dan 0,90%. Plastik HDPE dicampurkan setiap sepertiga dari penuangan beton dengan perletakan sesuai arah horizontal. Prosentase optimum terjadi pada penambahan plastik HDPE sebanyak 0,50% dengan peningkatan kuat lentur beton sebesar 5,08% (Sina et al, 2012).

Penelitian terkait lainnya yaitu penggunaan cacahan plastik PET sebagai bahan tambah pada beton normal dengan mutu $f_c' = 25 \text{ MPa}$. Cacahan-cacahan botol plastik PET tersebut dalam dimensi yang beragam dan bervariasi. Kadar Polyethylene terephthalate (PET) yang ditambahkan pada beton mutu normal dalam volume fraksi adalah 0,10, 0,20, 0,30, 0,50, 0,70 dan 1,00%. Sifat fisik botol plastik PET didapat dari literatur, sedangkan yang diuji hanya berat jenisnya saja yaitu dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh nilai sebesar $1,35 \text{ gr/cm}^3$ Percobaan pembebanan yang dilakukan meliputi kuat tarik belah dan kuat geser. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm digunakan untuk pengujian kuat tarik belah dan benda uji double L berukuran $20 \times 30 \times 7.5 \text{ cm}^3$ untuk pengujian kuat geser. Dari hasil penelitian beton normal terhadap beton segar, dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar cacahan botol plastik PET yang dicampur dalam campuran beton, maka akan cenderung terjadi penurunan pada nilai slump. Dari hasil pengujian terhadap beton yang telah mengeras didapatkan hasil dengan penambahan cacahan

botal plastik PET optimum sebesar 0,5% terjadi peningkatan kuat tarik belah sebesar 25,44% pada umur 7 hari, sedangkan pada umur 28 hari peningkatan optimum pada 0,7% yaitu sebesar 19,39%. Pada kuat geser peningkatan optimum terjadi pada 0,5% yaitu sebesar 37,19% (Lestario, 2008).

Pada penelitian ini dicoba penambahan plastik PET (*Poly Ethylene Terephthalate*) sebagai bahan tambah pada beton normal. PET dipotong – potong memanjang menyerupai serat dengan panjang 15 cm dan lebar 1 cm, hal ini bertujuan untuk meningkatkan kuat lentur beton. Prosentase penambahan plastik PET mengacu pada literatur berkisar antara 0.00% – 1.00% terhadap berat semen. Penambahan plastik PET juga divariasikan dengan penggunaan resin pada serat plastik dengan cara mencelupkannya dan dikeringkan hingga mengeras. Penambahan resin diharapkan dapat memperkuat ikatan antara plastik PET dengan bahan penyusun beton khususnya pada semen.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalahnya yaitu:

1. Berapakah kontribusi limbah serat plastik PET (*Poly Ethylene Terephthalate*) dan resin pada beton normal terhadap kuat lentur dengan pengujian dua titik pembebanan?
2. Bagaimana pola keruntuhan yang terjadi pada beton untuk setiap masing – masing variasi penambahan serat plastik PET?

1.3. Tujuan

Berdasarkan pada rumusan masalah diatas, penelitian ini ditujukan untuk:

1. Mengetahui kontribusi limbah serat plastik PET (*Poly Ethylene Terephthalate*) dan resin pada beton normal terhadap kuat lentur dengan pengujian dua titik pembebanan,
2. Mengetahui pola keruntuhan yang terjadi pada beton untuk setiap masing – masing variasi penambahan serat plastik PET.

1.4. Manfaat

1. Penelitian ini diharapkan agar dapat memberikan informasi pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan tambah pada beton serat, serta pemanfaatan limbah plastik guna untuk mengurangi limbah yang mencemari lingkungan.
2. Dari penelitian ini, diharapkan limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kuat lentur pada beton. Hal ini diperlukan oleh balok yang lebih memerlukan kekuatan lentur daripada kekuatan tekan.
3. Penelitian ini diharapkan juga agar berguna dalam bidang konstruksi dalam penggunaan beton serat.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini agar penelitian tetap terfokus pada tujuan yang ingin dicapai antara lain:

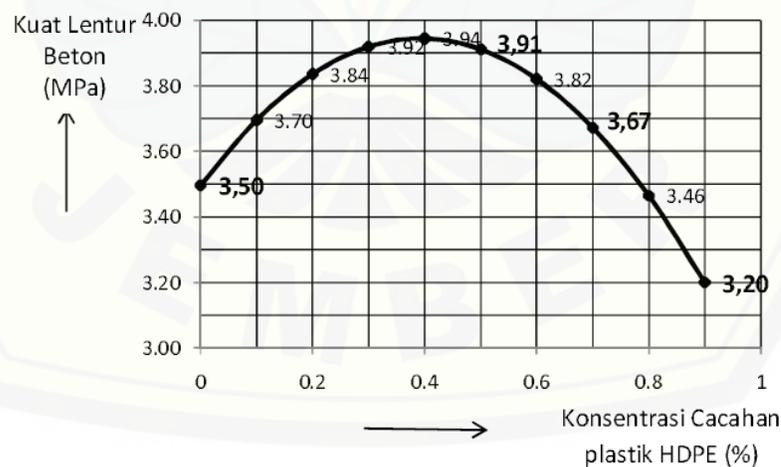
1. Penggunaan plastik PET yang digunakan hanya pada bagian badan botol saja, tanpa bagian bawah dan juga tutup botol,
2. Tidak meneliti tentang reaksi kimia yang terjadi antara serat plastik, resin, dan juga material utama penyusun beton,
3. Penelitian hanya sebatas menguji kuat tekan dan kuat lentur beton.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang penambahan plastik sebagai bahan tambah pada beton yaitu dengan menambahkan cacahan gelas plastik polypropylene (PP) pada campuran beton. cacahan plastik divariasikan dengan penambahan sebesar 0,00%, 0,50%, 0,75%, 1,00%, dan 1,25% terhadap berat semen. Dari pengujian kuat tekan dilakukan pada 7, 14, dan 28 hari, sedangkan pengujian kuat tarik dilakukan pada umur 28 hari. dari pengujian tersebut didapat kuat tekan optimum sebesar 264,006 kg/cm² pada umur 28 hari dengan penambahan plastik 0,00%. Sedangkan kuat tarik optimum didapat sebesar 24,264 kg/cm² dengan penambahan sebanyak 0,50% (Chandra,2008).

Penelitian terkait tentang penambahan serat plastik sudah pernah dilakukan sebelumnya dengan penambahan plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) pada beton normal. Penambahan plastik HDPE pada beton normal dengan ukuran panjang maksimum 150 mm dan lebar maksimum 10 mm. penambahan plastik HDPE divariasikan dengan variasi penambahan 0%, 0,50%, 0,70%, dan 0,90%. Plastik HDPE dicampurkan setiap sepertiga dari penuangan beton dengan perletakan sesuai arah horizontal. Peningkatan kuat lentur dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 2.1. Grafik Hubungan Kuat Lentur Beton dengan Konsentrasi Cacahan Plastik HDPE dalam Beton pada Umur 7 Hari (Sumber: Sina dkk, 2012)

Pengujian kuat lentur dengan cacahan plastik HDPE sebanyak 0% diperoleh nilai kuat lentur rata-rata sebesar 4,12 MPa, sedangkan pengujian kuat lentur dengan cacahan plastik HDPE sebanyak 0,50% diperoleh nilai kuat lentur rata-rata sebesar 4,33 MPa. Prosentase optimum terjadi pada penambahan plastik HDPE sebanyak 0,50% dengan peningkatan kuat lentur beton sebesar 5,08% (Sina dkk, 2012).

Penelitian terkait lainnya yaitu penggunaan cacahan plastik PET sebagai bahan tambah pada beton normal dengan mutu $f_c' = 25$ MPa. Cacahan-cacahan botol plastik PET tersebut dalam dimensi yang beragam dan bervariasi. Kadar Polyethylene terephthalate (PET) yang ditambahkan pada beton mutu normal dalam volume fraksi adalah 0,10, 0,20, 0,30, 0,50, 0,70 dan 1,00%. Sifat fisik botol plastik PET didapat dari literatur, sedangkan yang diuji hanya berat jenisnya saja yaitu dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh nilai sebesar 1,35 gr/cm³. Percobaan pembebanan yang dilakukan meliputi kuat tarik belah dan kuat geser. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm digunakan untuk pengujian kuat tarik belah dan benda uji double L berukuran 20×30×7.5 cm³ untuk pengujian kuat geser. Dari hasil penelitian beton normal terhadap beton segar, dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar cacahan botol plastik PET yang dicampur dalam campuran beton, maka akan cenderung terjadi penurunan pada nilai slump. Dari hasil pengujian terhadap beton yang telah mengeras didapatkan hasil dengan penambahan cacahan botol plastik PET optimum sebesar 0,5% terjadi peningkatan kuat tarik belah sebesar 25,44% pada umur 7 hari, sedangkan pada umur 28 hari peningkatan optimum pada 0,7% yaitu sebesar 19,39%. Pada kuat geser peningkatan optimum terjadi pada 0,5% yaitu sebesar 37,19% (Lestario, 2008).

2.2. Deskripsi Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002). Beton dijadikan sebagai bahan penyusun pada bangunan karena beton memiliki kuat tekan yang tinggi. Dengan kelebihan kuat tekan yang tinggi beton juga memiliki kekurangan yaitu memiliki

berat sendiri yang besar. Disamping itu beton juga memiliki kuat tarik yang kecil, oleh sebab itu beton biasanya dikombinasikan dengan baja tulangan untuk meningkatkan kuat tariknya.

Beton juga memiliki beberapa kelebihan sehingga pemakaiannya begitu luas. Beberapa kelebihan beton antara lain (Antoni dan Nugraha, P., 2007):

a. Ketersediaan (*availability*) materi dasar.

Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri, bahkan bisa setempat. Bahan termahal adalah semen, yang bisa diproduksi di dalam negeri.

b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).

Pengangkutan bahan mudah, karena masing – masing bahan dapat diangkut secara terpisah. Beton dapat dipakai untuk berbagai keperluan struktur, seperti bendungan, fondasi, jalan, dan landasan bandar udara. Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat, seperti jembatan, gedung, tandon air, dan sebagainya.

c. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*)

Beton bersifat *monolit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk – bentuk khusus 3 dimensi. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak membutuhkan keahlian khusus, sampai alat modern di pabrik yang serba otomatis dan terkomputasi.

d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal

Secara umum ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicatr seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

2.3. Serat Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen (Suroño, 2013).

2.3.1. Kode Daur Ulang Plastik

Pada bagian bawah wadah atau benda berbahan plastik seperti botol minuman, biasanya ada simbol daur ulang dan didalamnya terdapat angka. Angka tersebut menunjukkan kandungan kadar kimia pada benda berbahan plastik tersebut. Kode tersebut diletakkan demi keperluan keamanan dan mulai digunakan sejak tahun 1988 oleh The Society of Plastic di Amerika Serikat. Berikut dibawah ini penjelasan pada simbol tersebut :

1. PET (Polyethylene Terephthalate)

Pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya dan tulisan PETE / PET (polyethylene terephthalate). Jenis plastik ini dibuat menggunakan bahan yang disebut dengan *antimoni trioksida* dan biasa dipakai untuk botol plastik seperti botol air mineral. Botol jenis PETE / PET ini direkomendasikan hanya sekali pakai, karena bila terlalu sering dipakai atau digunakan untuk menyimpan air panas / hangat dapat mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker).

2. HDPE (High Density Polyethylene)

Pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 2 di tengahnya serta tulisan HDPE (high density polyethylene). Jenis plastik ini biasa dipakai untuk tupperware, galon air minum, kursi lipat, dan lain-lain. HDPE merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan / minuman yang dikemasnya. HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat,

keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Sama seperti PET, HDPE juga direkomendasikan hanya untuk sekali pemakaian, karena pelepasan senyawa *antimoni trioksida* terus meningkat seiring waktu.

3. V (Polyvinyl Chloride)

Tertera logo daur ulang (terkadang berwarna merah) dengan angka 3 di tengahnya, serta tulisan V yang berarti PVC (polyvinyl chloride), yaitu jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. Plastik ini bisa ditemukan pada plastik pembungkus (cling wrap), dan botol-botol. PVC mengandung DEHA yang dapat bereaksi dengan makanan yang dikemas dengan plastik berbahan PVC ini saat bersentuhan langsung dengan makanan tersebut karena DEHA ini lumer pada suhu -15°C . Reaksi yang terjadi antara PVC dengan makanan yang dikemas dengan plastik ini berpotensi berbahaya untuk ginjal, hati dan berat badan.

4. LDPE (Low Density Polyethylene)

Tertera logo daur ulang dengan angka 4 di tengahnya, serta tulisan LDPE (low density Polyethylene) yaitu plastik tipe coklat (thermoplastic / dibuat dari minyak bumi), biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, dan botol-botol yang lembek. Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. Pada suhu di bawah 60°C sangat resisten terhadap senyawa kimia, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, akan tetapi kurang baik bagi gas – gas yang lain seperti oksigen. Plastik ini dapat didaur ulang, baik untuk barang-barang yang memerlukan fleksibilitas tetapi kuat, dan memiliki resistensi yang baik terhadap reaksi kimia. Barang berbahan LDPE ini sulit dihancurkan, tetapi tetap baik untuk tempat makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini.

5. PP (Polypropylene)

Tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP (polypropylene) adalah pilihan terbaik untuk bahan plastik, terutama untuk yang berhubungan dengan makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum dan terpenting botol minum untuk bayi. Biasanya memiliki karakteristik botol transparan yang tidak jernih atau berawan. Polipropilen lebih kuat dan ringan

dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap.

6. PS (Polystyrene)

Tertera logo daur ulang dengan angka 6 di tengahnya, serta tulisan PS (polystyrene) ditemukan tahun 1839, oleh Eduard Simon, seorang apoteker dari Jerman, secara tidak sengaja. PS biasa dipakai sebagai bahan tempat makan styrofoam, tempat minum sekali pakai, dan lain-lain. Selain tempat makanan, styrene juga bisa didapatkan dari asap rokok, asap kendaraan dan bahan konstruksi gedung. Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, dan pertumbuhan dan sistem syaraf, juga karena bahan ini sulit didaur ulang. Pun bila didaur ulang, bahan ini memerlukan proses yang sangat panjang dan lama. Bahan ini dapat dikenali dengan kode angka 6, namun bila tidak tertera kode angka tersebut pada kemasan plastik, bahan ini dapat dikenali dengan cara dibakar (cara terakhir dan sebaiknya dihindari). Ketika dibakar, bahan ini akan mengeluarkan api berwarna kuning-jingga, dan meninggalkan jelaga.

7. Other

Khusus plastik dengan kode 1, 3, 6, dan 7 (polycarbonate), seluruhnya memiliki bahaya secara kimiawi. Ini tidak berarti bahwa plastik dengan kode yang lain secara utuh aman, namun perlu dipelajari lebih jauh lagi. Maka, jika harus menggunakan plastik, akan lebih aman bila menggunakan plastik dengan kode 2, 4, 5, dan 7 (kecuali polycarbonate) bila memungkinkan. Bila tidak ada kode plastik pada kemasan tersebut, atau bila tipe plastik tidak jelas (misalnya pada kode 7, di mana tidak selamanya berupa polycarbonate), cara terbaik yang paling aman adalah menghubungi produsennya dan menanyakan mereka tentang tipe plastik yang digunakan untuk membuat produk tersebut (http://www.academia.edu/14805927/Arti_7_Symbol_Pada_Kemasan_Plastik).

2.3.2. Karakteristik Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

PET (*poly ethylene terephthalate*) biasa digunakan untuk botol plastik. Botol jenis PET ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Plastik PET ditandai dengan kode daur ulang 1. Plastik PET mempunyai densitas sebesar 1455 kg/m^3 , tegangan tarik PET non daur ulang (NDU) sebesar $62,48 \text{ N/mm}^2$ dan regangan tariknya 19% . Plastik PET non daur ulang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi di atas HDPE, PP, dan LDPE dan regangan tarik medium. Untuk kekuatan dan regangan tarik plastik PET yang daur ulang (DU) hanya menghasilkan tegangan tarik $23,36 \text{ N/mm}^2$ dan regangan tarik $7,36 \%$, hal ini berarti ada penurunan kualitas tegangan 63% (dari kekuatan tegangan tarik dari $62,48 \text{ N/mm}^2$ menjadi $23,36 \text{ N/mm}^2$) dan penurunan kualitas regangan terhadap jenis plastik PET 61% yaitu dari regangan tarik 19% menjadi $7,36 \%$. Walaupun terjadi penurunan kekuatan dan regangan tariknya, namun kekuatan tariknya tetap masih yang tertinggi bila dibandingkan dengan plastik dari bahan HDPE, PP, atau LDPE. Sehingga produk – produk daur ulang dari bahan PET masih layak dilakukan dan digunakan (Suyadi, 2010).

Tabel 2.1. Data Perbandingan Tegangan dan regangan tarik PET

No.	Tegangan Tarik PET [N/mm ²]		Regangan Tarik PET [%]		Perbedaan NDU dengan DU Teg. & Reg.Tarik	
	NDU	DU	NDU	DU	Teg.Tarik ² [N/mm ²]	Reg.Tarik [%]
1	55	26,1	20	4,3	28,9	15,7
2	78,5	15,5	16,7	10,2	63	6,5
3	50	20,2	21,2	8,4	29,8	12,8
4	75	23,2	16,7	5,3	51,8	11,4
5	50,5	24,5	22	10,6	26	11,4
6	60,2	26,1	16,7	6,7	34,1	10
7	75,2	25,2	18,7	6,7	50	12
8	55,4	26,1	20	6,7	29,3	13,3
Rerata	62,475	23,3625	19	7,3625	39,1125	11,6375

Sumber : Suyadi, 2010

2.4. Resin Epoxy

Resin epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok thermoset. Resin termoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat

secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia, membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanisnya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan sifat optimum bahan. Thermoset memiliki sifat isotropis dan peka terhadap suhu, mempunyai sifat tidak bisa meleleh, tidak bisa diolah kembali, atomnya berikatan dengan kuat sekali, tidak bisa mengalami pergeseran rantai.

Epoksi secara umum mempunyai karakteristik yang baik, yaitu:

1. Kemampuan mengikat paduan metalik yang baik

Kemampuan ini disebabkan oleh adanya gugus hidrolis yang memiliki kemampuan membentuk ikatan via ikatan hidrogen. Gugus hidrosil ini juga dimiliki oleh oksida metal, dimana pada kondisi normal menyebar pada permukaan metal. Keadaan ini menunjang terjadinya ikatan antara atom pada epoksi dengan atom yang berada pada material metal.

2. Ketangguhan

Kegunaan epoksi sebagai bahan matrik dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh sebab itu saat ini terus dilakukan penelitian untuk meningkatkan ketangguhan bahan matrik atau epoksi.

Resin epoksi banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan (moulding compound) dan perekat. Resin epoksi sangat baik digunakan sebagai matriks pada komposit dengan penguat serat gelas. Pada beton penggunaan resin epoksi dapat mempercepat proses pengerasan, karena resin epoksi menimbulkan panas sehingga membantu percepatan pengerasan (Gemert V. D. et al, 2004).

Penelitian terkait dengan resin epoxy yaitu pembuatan mortar polimer menggunakan resin epoxy sebagai bahan pengganti semen dan juga agregat halus. Pada penelitian tersebut dibuat mortar polimer tanpa semen, agregat halus dan resin epoksi sebagai bahan perekat beton. Komposisi bahan baku mortar polimer dibuat dengan perbandingan antara agregat halus dan resin epoksi, dengan komposisi

campuran sebesar 20%, 25% ,30%, 35%, 40% (% berat dari total agregat). Mortar yang sudah dicetak kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 600° C selama 24 jam. Parameter yang diukur antara lain: penyerapan air, kuat tekan, kuat tarik belah, dan analisa mikro struktur dengan menggunakan Scanning Elektron Microscope (SEM). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi optimum mortar polimer diperoleh pada komposisi: 65% agregat (agregat halus) dan 35% resin epoksi (% berat dari agregat halus). Pada kondisi ini diperoleh karakteristik mortar polimer sebagai berikut: penyerapan air = 3,57%, kuat tekan = 6,80 MPa, dan kuat tarik belah = 1.75 Mpa. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa resin epoxy bekerja dengan baik sebagai perekat pada beton (Arif,2015).

2.5. Air

Air digunakan dalam pembentukan beton dengan cara bereaksi dengan semen membentuk pasta perekat. Air juga digunakan untuk memperoleh kelecakan beton agar beton mudah dibentuk. Air harus bersih dari kotoran dan juga zat kimia agar tidak mengganggu proses pengerasan pada beton dan juga agar tidak merubah sifat dari beton (SNI 03-2847-2002). Kotoran dan juga zat kimia secara umum bisa menyebabkan:

- a. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
- b. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak – bercak pada permukaan beton.

Sesuai dengan syarat pada SNI 7974:2013, ada beberapa kriteria air yang boleh digunakan untuk campuran pada beton. Syarat – syarat tersebut meliputi macam – macam air yang dapat digunakan serta tata cara pengujian air yang akan dijadikan sebagai campuran pada beton.

2.6. Semen

Menurut SNI 2049:2015, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Hidrolis berarti sangat mudah bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen disebut hidrolis dikarenakan mengandung senyawa kalsium silikat dan kalsium sulfat. Reaksi antara semen dan air terjadi secara *irreversible*, artinya hal ini berlangsung hanya sekali dan tidak dapat kembali seperti kondisi semula.

2.7. Agregat

Agregat adalah batuan yang mengandung senyawa – senyawa kimia sehingga memiliki karakteristik, kekuatan dan berat jenis yang berbeda – beda. Agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi (*filler*), agregat memiliki peran yang sangat penting dikarenakan komposisinya yang cukup besar pada beton. Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik (SNI 03-2847-2002).

2.7.1. Agregat Kasar

Kerikil merupakan agregat kasar sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5mm sampai 40mm (SNI 03-2847-2002). Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan mempunyai ikatan yang baik.

Syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

1. Tidak boleh reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan yang reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6 %.

2. Susunan gradasi harus memenuhi syarat.
3. Kadar bahan atau partikel yang berpengaruh buruk pada beton.
4. Sifat fisika mencakup kekerasan butiran diuji dengan los angles dan sifat kekal.

2.7.2. Agregat Halus

Pasir alam merupakan agregat halus yang lolos dari ayakan no.4 (lebih kecil dari 3/16 inci) dimana besar butirannya berkisar antara 0,15 sampai 5 mm (SNI 03-2847-2002). Pasir dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Pasir galian yang diperoleh dari permukaan tanah.
2. Pasir sungai yang diambil dari sungai.
3. Pasir laut yang diperoleh dari pantai.

2.8. Beton Serat

Merupakan campuran beton ditambah serat, umumnya berupa batang – batang dengan ukuran 5 – 500 μm , dengan panjang sekitar 25 mm. bahan serat dapat berupa serat asbetos, serat plastik (*poly-propylene*), atau potongan kawat baja. Kelemahannya sulit dikerjakan, namun lebih banyak kelebihanannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktil, dan tahan benturan (Mulyono, 2003).

Beton serat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu beton serat alami dan serat buatan. Serat alami umumnya berasal dari tumbuh – tumbuhan. Karena sifat umumnya mudah menyerap dan melepaskan air, serat alam mudah lapuk sehingga tidak dianjurkan dalam penggunaan pada beton bermutu tinggi atau untuk penggunaan khusus. Serat buatan umumnya dibuat dari senyawa – senyawa polimer. Mempunyai ketahanan tinggi terhadap perubahan cuaca. Mempunyai titik leleh, kuat tarik, dan kuat lentur tinggi. Serat buatan digunakan untuk beton bermutu tinggi maupun penggunaan secara khusus.

2.9. Mix Design

Ada beberapa metode perencanaan *mix design*. Metode – metode tersebut memiliki kelebihan masing – masing, karena itu tidak dapat dikatakan metode mana

yang terbaik. Metode perencanaan campuran digunakan untuk memperkirakan proporsi awal campuran. Perhitungan ini perlu dicek dengan membuat sedikitnya satu campuran percobaan (*trial mix*). Beberapa metode *mix design* yang dapat digunakan diantaranya adalah ACI (*American Concrete Institute*) dan DOE (*British Departement of Environment*).

2.10. Analisis Perilaku Balok Beton

2.10.1. Tegangan Normal pada Balok

Suatu tegangan yang bekerja dalam arah normal terhadap penampang sebuah balok dari regangan normal. Tiap serat longitudinal dari sebuah balok hanya dikenakan beban tarik dan tekan, sehingga hubungan antara tegangan dan regangan dapat ditampilkan pada diagram tegangan – regangan. Tegangan normal pada suatu balok dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana: M = momen lentur pada penampang

y = jarak dari sumbu netral ke daerah tegangan yang ditinjau

I = momen inersia

2.10.2. Model Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Tegangan lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Apabila kekuatan tarik beton telah terlampaui, maka beton mengalami retak rambut. Oleh karena itu beton tidak dapat meneruskan gaya tarik pada daerah retak, sehingga seluruh gaya tarik yang timbul ditahan oleh baja tulangan. Pada kondisi tersebut, distribusi tegangan beton tekan masih dianggap sebanding dengan nilai regangannya.

Menurut Rico Desrianto (2015), Berdasarkan jenis keruntuhannya, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok sebagai berikut ini:

1. Kondisi *Balanced*

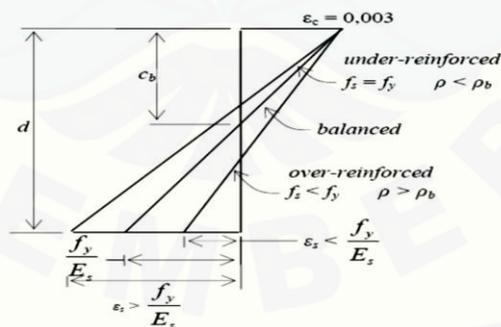
Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_c$

2. Kondisi *Over-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya f_y , kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan balanced

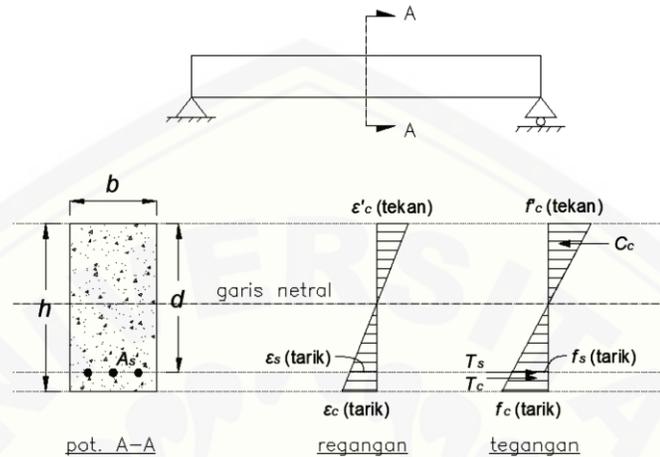
3. Kondisi *Under-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ϵ_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok bertulang kurang dari yang diperlukan dibawah kondisi balanced.



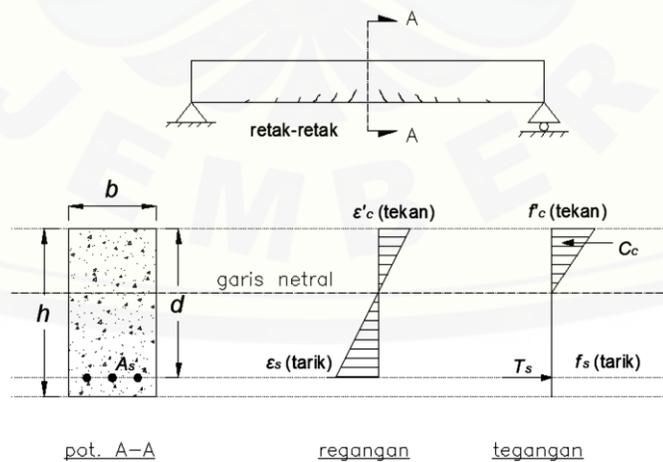
Gambar 2.2. Distribusi Regangan Penampang Balok (Sumber:Nawy,1990)

Berikut ini diberikan tinjauan ulang perilaku balok beton bertulang bentangan sederhana untuk memikul beban yang berangsur dari mula – mula kecil sampai pada suatu tingkat pembebanan yang menyebabkan hancurnya struktur.



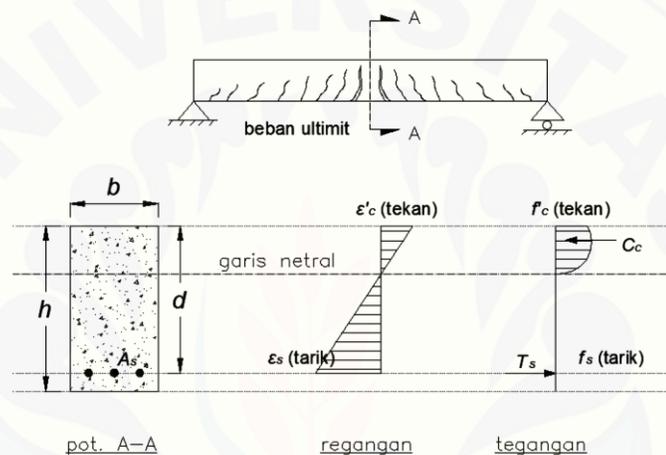
Gambar 2.2. Perilaku lentur pada beban kecil (Sumber:Dipohusodo,1999)

Pada beban kecil, dengan menganggap belum terjadi retak beton, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton. Distribusi tegangan akan tampak seperti Gambar 2.2 dimana distribusi tegangannya linear, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Kasus demikian dapat ditemui bila tegangan maksimum yang timbul pada serat tarik masih cukup rendah, nilainya masih dibawah *modulus of rupture*.



Gambar 2.3. Perilaku lentur pada beban sedang (Sumber:Dipohusodo,1999)

Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut seperti pada Gambar 2.3. Karena beton tidak dapat meneruskan gaya Tarik melintasi daerah retak, baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada atau dekat bagian yang retak tampak seperti pada Gambar 2.3, dan hal yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan $1/2f_c'$. Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap memiliki nilai yang sebanding dengan nilai regangannya.



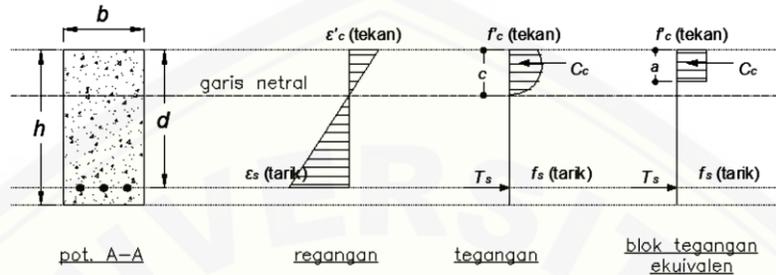
Gambar 2.4. Perilaku lentur dekat beban ultimit (Sumber:Dipohusodo,1999)

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat model distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada kondisi pembebanan mendekati pembebanan ultimit, dimana apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh maka beton akan mengalami kehancuran. Pada kondisi pembebanan ini, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antar keduanya, dimana tegangan beton akan membentuk kurva nonlinear.

Menghitung volume blok tegangan tekan yang berbentuk parabola bukanlah hal yang mudah. Oleh karena itu, Whitney mengusulkan agar digunakan blok tegangan segiempat ekuivalen yang dapat digunakan untuk menghitung gaya tekan tanpa harus kehilangan ketelitiannya.

Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi a dan tegangan tekan rata-rata sebesar $0.85 f_c'$. Nilai ini diperoleh berdasarkan hasil percobaan pada beton yang

berumur lebih dari 28 hari. Dengan menggunakan semua asumsi di atas maka perhitungan volume blok tegangan tekan dapat lebih mudah dilakukan dengan hanya menggunakan rumus volume balok sederhana. Bentuk blok tegangan ekuivalen ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Blok tegangan ekuivalen (Sumber: Dipohusodo,1999)

Kapasitas momen dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$M_n = C_c \times z \text{ atau } M_n = T_s \times z \dots\dots\dots (2.2)$$

- Dimana: C_c = tekan pada beton
- T_s = tarik pada tulangan
- Z = tinggi efektif $- \frac{1}{2} a$

Dari syarat keseimbangan $\Sigma H = 0$ diperoleh:

$$C_c = T_s \dots\dots\dots (2.3)$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.4)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots (2.5)$$

Apabila kapasitas batas kekuatan beton pada daerah tekan telah terlampaui maka balok akan mengalami kehancuran. Sampai dengan tahap ini tampak bahwa tercapainya kapasitas ultimit merupakan proses yang tidak dapat berulang karena beton telah melewati kondisi elastisnya.

2.10.3. Geser pada Beton

Sesuai dengan sifat beban yang bekerja pada komponen struktur nonpratekan, maka kuat geser nominal beton (V_c) yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani geser dan lentur ditentukan sebagai berikut:

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b \times d \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana: f_c' = mutu beton
 b = lebar bentang
 d = tinggi bentang

2.11. Kontrol Kinerja Pelaksanaan

Kontrol kualitas adalah bagian dari proses jaminan kualitas guna memastikan kualitas produk dengan menguji untuk mengecek terhadap nilai target tertentu (Nugraha P & Antoni, 2007). Pada beton kontrol kualitas biasanya menggunakan aplikasi statistika sebagai berikut:

1. Rata-rata

Merupakan jumlah nilai suatu data dalam kelompok dibagi dengan banyaknya data. Nilai rata-rata dihitung dengan rumus:

$$f_c' m = \frac{\sum f_c'}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana: f_c' = kuat tekan (kg/cm²)
 n = jumlah benda uji

2. Standart Deviasi (Sd)

Pada beton apabila benda uji diperiksa kekuatannya, maka hasilnya akan menyebar sekitar suatu nilai tertentu. Penyebaran tersebut bergantung pada tingkat kesempurnaan pelaksanaannya. Ukuran dari besar kecil penyebaran itulah yang disebut standart deviasi. Dalam menghitung standart deviasi dapat digunakan rumus:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum f_c' - f_c' m^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana: f_c' = kuat tekan (kg/cm²)
 $f_c' m$ = kuat tekan rata-rata (kg/cm²)
 n = jumlah benda uji

Penetapan nilai standart deviasi menurut SNI didasarkan pada tingkat pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Semakin baik pelaksanaan maka semakin kecil nilai deviasi standarnya. Nilai standart deviasi untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 2.2. Nilai koreksi Standard deviasi

Benda Uji (n)	Konstanta (K)
8	1.37
9	1.29
10	1.23
11	1.19
12	1.15
13	1.13
14	1.10
15	1.07
16	1.06
17	1.04
18	1.03
19	1.01
20	1.00

Sumber : SK SNI T-15-1990-03

3. Variasi

Bahan beton merupakan bahan yang mempunyai sifat fisik dan mekanik yang bervariasi. Variasi menunjukkan mutu pelaksanaan dilihat dari pengujian. Berdasarkan SK SNI T-15-1990-03 dapat diperoleh dengan rumus:

$$V = \frac{Sd}{f_c'} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana: f_c' = kuat tekan rata-rata (kg/cm²)

Sd = standart deviasi (kg/cm²)

Nilai $V < 10\%$ menunjukkan mutu amat baik, mutu baik jika $10\% < V < 15\%$, mutu cukup jika $15\% < V < 20\%$, dan mutu kurang jika $V > 20\%$.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memperoleh informasi mengenai penelitian yang akan dilaksanakan. Kegiatan ini meliputi pengumpulan data – data yang diperoleh dari jurnal, penelitian terdahulu, buku referensi, dan internet. Hal ini bertujuan agar penelitian mempunyai arahan serta dasar yang kuat yang dijadikan sebagai landasan dari penelitian ini.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Maret hingga Mei 2017.

Tabel 3.3. Rod Map Penelitian

Penelitian	Bulan ke – 1	Bulan ke – 2	Bulan ke – 3
Studi literatur	■		
Persiapan bahan	■		
Pengujian Material			
Perhitungan mix desain			
Pembuatan benda uji		■	
Pengujian kuat tekan			■
Pengujian lentur			■

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian ini bersifat eksperimen. Metode eksperimen pada penelitian ini dilakukan dengan merencanakan beton $f_c' = 30$ MPa. *Mix design* yang digunakan untuk menentukan prosentase material dasar berdasarkan SNI 03-2834-2000.

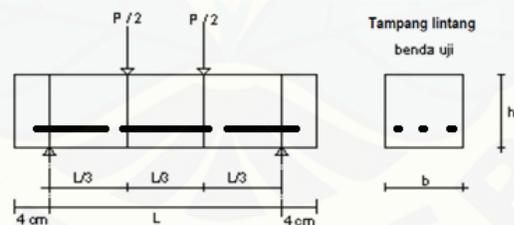
Tabel 3.4. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian Kuat Tekan		
Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah (pasang)
Beton Normal	7	2
Total		2

Tabel 3.5. Pengujian Lentur

Pengujian lentur		
Benda uji	Umur (hari)	Jumlah (buah)
Tanpa penambahan serat plastik	28	3
Kadar 0.40 % dari berat semen		
Dengan serat plastik	28	3
Serat plastik + resin	28	3
Serat plastik + resin + pasir	28	3
Kadar 0.60 % dari berat semen		
Dengan serat plastik	28	3
Serat plastik + resin	28	3
Serat plastik + resin + pasir	28	3
Total		21

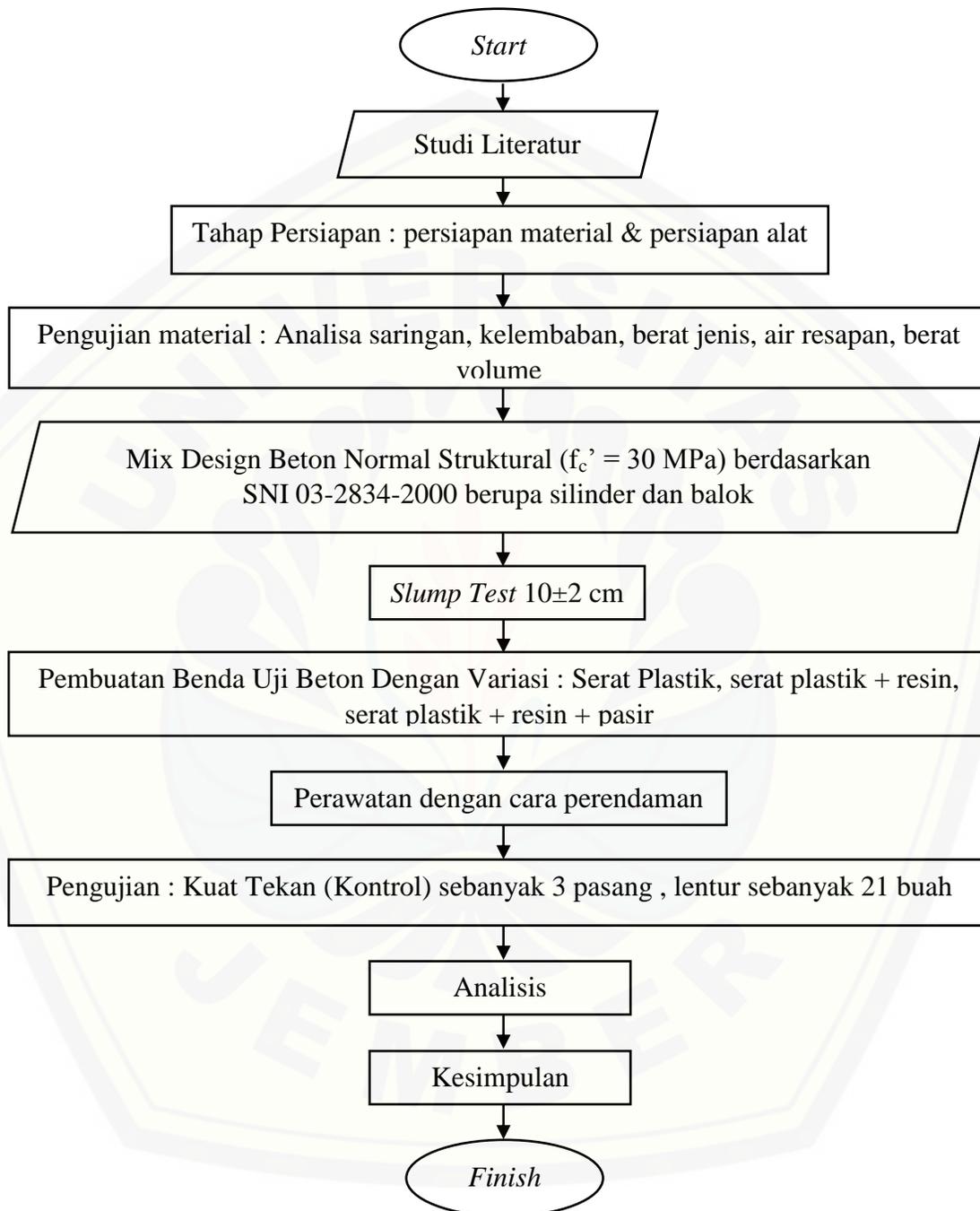
Pengujian lentur menggunakan variasi dengan penambahan sebanyak 0.00%, 0.40%, dan 0.60% terhadap berat semen. Penentuan penggunaan variasi tersebut didasari dari studi literatur penelitian terdahulu dengan penambahan serat plastik yang optimum berkisar antara 0.00% hingga 1.00%. Dari pengujian tersebut dapat ditentukan variasi terbaik dari penambahan serat plastik pada beton tersebut. Serat plastik PET diletakkan saat pencetakan benda uji dengan cara meletakkan searah horizontal setelah beton segar dirojok disetiap sepertiga bagian.



Gambar 3.1. Letak Plastik PET pada Beton

3.4. Alur Penelitian

Langkah – langkah penelitian ini terlampir dalam *flow chart* berikut :



Gambar 3.2. Diagram Flow Chart penelitian

3.5. Alat dan bahan

3.5.1. Bahan

Bahan yang digunakan untuk sampel beton antara lain:

1. Semen

Semen digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beton. pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen PCC type I kemasan 40 kg.

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton adalah batu pecah di daerah Jember

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir lumajang yang sebelumnya diuji saringan untuk menentukan zona pasir serta kandungan lumpur yang terdapat pada pasir.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari sumur bor Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Secara visual air tampak jernih, tidak berbau dan berwarna.

5. Serat Plastik

Plastik yang digunakan adalah plastik PET yang berasal dari botol kemasan air mineral. Botol plastik dipotong dengan ukuran panjang 15 cm dan lebar 1 cm.

6. Resin epoxy

Resin epoxy digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan ikatan antara serat plastik dan bahan penyusun beton. penggunaan resin epoxy tersebut dengan cara melapisi serat plastik yang sudah dipotong – potong dan didiamkan beberapa saat sebelum diletakkan pada cetakan beton.

3.5.2. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Satu set saringan ASTM.

Satu set saringan ASTM digunakan untuk menentukan gradasi agregat yang digunakan.

2. Timbangan analitis 2600 gr.

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan saat melakukan pengujian material

3. Alat getar (*shieve shaker*).

Alat getar digunakan untuk menggetarkan saringan ASTM pada saat pengayakan agregat. Pengayakan menggunakan alat penggetar memudahkan pekerjaan dibandingkan dengan pengayakan secara manual.

4. Oven dengan pengatur suhu

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus maupun agregat kasar pada saat pengujian material.

5. Pycnometer 100 cc.

Pycnometer digunakan untuk tempat takaran agregat halus dan semen saat melakukan pengujian material.

6. Loyang.

Digunakan sebagai agregat maupun semen saat melakukan pengujian dan juga sebagai wadah pada saat pengovenan material.

7. Timbangan 10 kg dan 25 kg.

Digunakan untuk menentukan berat material dan juga berat benda uji.

8. Keranjang sample.

Digunakan sebagai wadah agregat kasar saat menentukan berat di dalam air pada saat pengujian berat jenis agregat kasar.

9. Mold volume 5 lt.

Digunakan sebagai takaran pengujian berat volume untuk agregat.

10. Perojok besi

Digunakan untuk memadatkan agregat pada saat pengujian berat volume dengan rojokan, uji slump, dan juga saat pembuatan benda uji.

11. Mesin pengaduk (*concrete mixer*) kapasitas $\frac{1}{2}$ m³

Digunakan untuk mengaduk campuran material beton.

12. Sekop

Digunakan untuk mengambil material

13. Gerobak dorong.

Digunakan untuk mengangkut material dan benda uji

14. Satu set alat slump test

Digunakan untuk mengukur nilai slump pada adukan beton.

15. Cetakan silinder (15 cm x 15 cm x 30 cm).

Digunakan untuk mencetak benda uji.

16. cetakan balok (15 cm x 15 cm x 60 cm)

Digunakan untuk mencetak benda uji.

17. Mesin uji kuat tekan (*compression strength*).

Digunakan untuk menentukan kuat tekan benda uji.

18. Mesin uji kuat lentur (*Floxural Testing Machine*)

Digunakan untuk menentukan kuat lentur pada beton.

19. Alat bantu lainnya.

3.6. Pengujian Material

Pengujian bahan dilakukan untuk menguji bahan penyusun beton yang akan digunakan sesuai dengan standard pengujian. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat dan juga karakteristik yang terdapat dalam bahan tersebut. Langkah – langkah dalam pengujian bahan penyusun beton yaitu :

3.6.1. Pengujian Semen

Berat Volume (SNI 03-4804-1998)

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengukur berat volume semen. Berat volume yaitu perbandingan berat semen dengan volume cetakan . Pengujian berat volume ada dua yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Untuk menghitung berat volume menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana : W_1 = berat silinder (gr)
 W_2 = berat silinder + semen (gr)
 V = volume silinder (cm³)

- Alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian berat volume:

1. Timbangan analitis 25 kg.
2. Silinder untuk takaran.
3. Alat perojok dari besi
4. Semen
5. Bak

- Prosedur pengujian:

- a. Tanpa rojokan.
 1. Timbang silinder dalam keadaan kosong.
 2. Silinder diisi dengan semen.
 3. Timbang silinder yang diisi dengan semen.
- b. Dengan rojokan.
 1. Timbang silinder dalam keadaan kosong.
 2. Isi silinder sepertiga bagian dengan semen kemudian rojok sebanyak 25 kali, lakukan juga saat pengisian duapertiga dan seterusnya hingga penuh.
 3. Timbang semen yang terisi oleh agregat.

3.6.2. Pengujian Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan juga karakteristik dari agregat halus, pengujian agregat halus antara lain:

a. Analisis saringan pasir (SNI 03-1968-1990)

Analisis saringan pasir bertujuan untuk mengetahui gradasi pasir. Kekasaran pasir menurut gradasinya dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar (SNI 03-2847-2002).

- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian analisis saringan pasir:

1. Timbangan analitis 2600 gr.

2. Oven dan pan.
 3. Agregat dalam keadaan kering oven.
 4. Alat penggetar (shieve shaker).
 5. Satu set saringan ASTM #4, #8, #16, #30, #50, #100, dan pan.
- Prosedur pengujian:
1. Timbang pasir sebanyak 1000 gr.
 2. Masukkan pasir dalam saringan dengan urutan dari ukuran saringan paling besar besar hingga pan.
 3. Getarkan saringan yang berisi pasir dengan sieve shaker selama 10 menit.
 4. Timbang berat pasir yang tertahan dalam saringan.
 5. Kontrol berat pasir 1000 gr.
- b. Kelembaban pasir (SNI 1970:2008)
- Kelembaban pasir bertujuan untuk mengukur kadar air pasir dengan cara kering. Menghitung kelembaban pasir menggunakan persamaan sebagai berikut:
- $$\text{Kelembaban} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$
- Dimana :
- W_1 = Berat agregat asli (gr)
- W_2 = Berat agregat oven (gr)
- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian kelembaban:
1. Timbangan analitis 2600 gr.
 2. Oven.
 3. Loyang.
 4. Pasir dalam keadaan asli.
- Prosedur pengujian:
1. Timbang pasir dalam keadaan asli.
 2. Masukkan pasir yang sudah ditimbang kedalam oven selama 24 jam.
 3. Keluarkan pasir dalam oven kemudian timbang beratnya setelah dingin.

c. Berat jenis pasir (SNI 1970:2008)

Perhitungan Berat jenis pasir bertujuan untuk mengukur berat jenis pasir dalam keadaan SSD / kering permukaan. Menghitung berat jenis pasir menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$B_{j\text{pasir}} = \frac{W_1}{W_1 - W_2 + W_3} \dots\dots\dots (3.3)$$

- Dimana :
- W_1 = berat pasir SSD (gr)
 - W_2 = berat picnometer + pasir + air (gr)
 - W_3 = berat picnometer + air (gr)

d. Air resapan (SNI 1970:2008)

Setiap bahan campuran beton memiliki tingkat resapan yang berbeda tergantung dari jumlah rongga udara. Penyerapan air sangat berpengaruh terhadap waktu pengerasan pada beton. Menghitung air resapan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{AirResapan} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

- Dimana :
- W_1 = berat agregat SSD (gr)
 - W_2 = berat agregat SSD (gr)

- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian air resapan:

1. Timbangan analitis 2600 gr.
2. Oven.
3. Loyang.
4. Agregat dalam kondisi SSD.

- Prosedur pengujian:

1. Timbang pasir dalam keadaan SSD.
2. Keringkan pasir dalam oven selama 24 jam.
3. Keluarkan pasir dalam oven kemudian timbang setelah dingin.

e. Berat volume pasir (SNI 03-4804-1998)

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengukur berat volume pasir. Berat volume yaitu perbandingan berat pasir dengan volume cetakan . Pengujian berat

volume ada dua yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Menghitung berat volume menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{BeratVolume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana : W_1 = berat silinder (gr)
 W_2 = berat silinder + pasir (gr)
 V = volume silinder (cm³)

f. Kadar lumpur pasir

- Alat dan bahan

1. Gelas ukur dari tabung kaca yang disertai ukuran pada dinding bagian luarnya
2. Agregat halus
3. Air

- Langkah-langkah pengujian

1. Memasukkan agregat halus ke dalam gelas ukur hampir setengah (misal 450 ml)
2. Menambahkan air sampai total pasir + air dua kali pasir (misal 900 ml)
3. Menutup gelas ukur dan kemudian dikocok selama 1 menit
4. Gelas ukur disimpan dan didiamkan di tempat yang datar selama ± 24 jam agar lumpur mengendap
5. Mengukur tinggi pasir dan tinggi lumpur

- Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana: V_1 = Tinggi pasir (ml)
 V_2 = Tinggi lumpur (ml)

3.6.3. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan juga karakteristik dari agregat kasar, pengujian agregat kasar antara lain:

a. Analisis saringan kerikil (SNI 03-1968-1990)

Analisis saringan kerikil bertujuan untuk mengetahui gradasi kerikil.

- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian analisis saringan kerikil:

1. Timbangan analitis 2600 gr.
 2. Oven dan pan.
 3. Agregat dalam keadaan kering oven.
 4. Alat penggetar (shieve shaker).
 5. Satu set saringan ASTM #4, #8, #16, #30, #50, #100, dan pan.
- Prosedur pengujian:
1. Timbang kerikil sebanyak 1000 gr.
 2. Masukkan kerikil dalam saringan dengan urutan dari ukuran saringan paling besar besar hingga pan.
 3. Getarkan saringan yang berisi kerikil dengan sieve shaker selama 10 menit.
 4. Timbang berat kerikil yang tertahan dalam saringan.
 5. Kontrol berat pasir 1000 gr.
- b. Kelembaban kerikil (SNI 1969:2008)

Kelembaban kerikil bertujuan untuk mengukur kadar air kerikil dengan cara kering. Menghitung kelembaban kerikil menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kelembaban} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana : W_1 = Berat agregat asli (gr)

W_2 = Berat agregat oven (gr)

- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian kelembaban:
1. Timbangan analitis 2600 gr.
 2. Oven.
 3. Loyang.
 4. kerikil dalam keadaan asli.
- Prosedur pengujian:
1. Timbang kerikil dalam keadaan asli.
 2. Masukkan kerikil yang sudah ditimbang kedalam oven selama 24 jam.
 3. Keluarkan kerikil dalam oven kemudian timbang beratnya setelah dingin.

c. Berat jenis kerikil (SNI 1969:2008)

Perhitungan Berat jenis kerikil bertujuan untuk mengukur berat jenis kerikil dalam keadaan SSD / kering permukaan. Menghitung berat jenis kerikil menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$B_{jkerikil} = \frac{W_1}{W_1 - W_2 + W_3} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana : W_1 = berat kerikil SSD (gr)
 W_2 = berat picnometer + kerikil + air (gr)
 W_3 = berat picnometer + air (gr)

d. Air resapan (SNI 1969:2008)

Setiap bahan campuran beton memiliki tingkat resapan yang berbeda tergantung dari jumlah rongga udara. Penyerapan air sangat berpengaruh terhadap waktu pengerasan pada beton. Menghitung air resapan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Air Resapan} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana : W_1 = berat agregat SSD (gr)
 W_2 = berat agregat SSD (gr)

- Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian air resapan:

1. Timbangan analitis 2600 gr.
2. Oven.
3. Loyang.
4. Agregat dalam kondisi SSD.

- Prosedur pengujian:

1. Timbang kerikil dalam keadaan SSD.
2. Keringkan kerikil dalam oven selama 24 jam.
3. Keluarkan kerikil dalam oven kemudian timbang setelah dingin.

e. Berat volume kerikil (SNI 03-4804-1998)

Pengujian berat volume dilakukan untuk mengukur berat volume kerikil. Berat volume yaitu perbandingan berat kerikil dengan volume cetakan . Pengujian

berat volume ada dua yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Menghitung berat volume menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat Volume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana : W_1 = berat silinder (gr)
 W_2 = berat silinder + kerikil (gr)
 V = volume silinder (cm³)

f. Kadar lumpur pasir

- Alat dan bahan

1. Gelas ukur dari tabung kaca yang disertai ukuran pada dinding bagian luarnya
2. Agregat kasar
3. Air

- Langkah-langkah pengujian

1. Memasukkan agregat kasar ke dalam gelas ukur hampir setengah (misal 450 ml)
2. Menambahkan air sampai total kerikil + air dua kali kerikil (misal 900 ml)
3. Menutup gelas ukur dan kemudian dikocok selama 1 menit
4. Gelas ukur disimpan dan didiamkan di tempat yang datar selama ± 24 jam agar lumpur mengendap
5. Mengukur tinggi kerikil dan tinggi lumpur

- Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana: V_1 = Tinggi kerikil (ml)
 V_2 = Tinggi lumpur (ml)

3.7. Jumlah dan Tata Letak PET

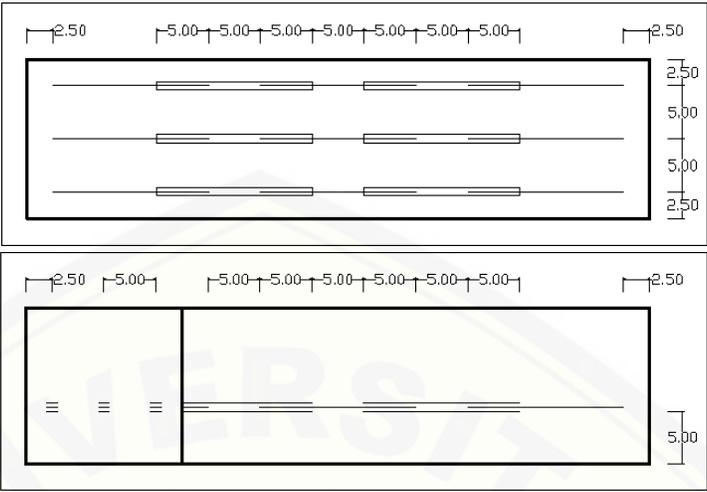
Pada penelitian ini jumlah plastik PET ditentukan berdasarkan prosentase berat semen pada masing – masing benda uji. Cacahan plastik kemudian diletakkan pada bagian 1/3 dari tinggi penampang sesuai dengan tatanan pada saat proses pencetakan benda uji. Perojokan dilakukan secara hati – hati untuk meminimalisir

bergesernya posisi PET. Letak tatanan pada setiap masing – masing variasi benda uji disajikan pada tabel 3.4 :

Tabel 3.6. Jumlah dan Tata Letak PET

Variasi	Tampak	Gambar	Jumlah
(PET) 0,4%	Atas		45
	Samping		
(PET) 0,6%	Atas		68
	Samping		

Variasi	Tampak	Gambar	Jumlah
(PET + Resin) 0,4%	Atas		24
	Samping		
(PET + Resin) 0,6%	Atas		34
	Samping		
(PET + Resin + Pasir) 0,4%	Atas		14
	Samping		

Variasi	Tampak	Gambar	Jumlah
(PET + Resin + Pasir) 0,6%	Atas Samping		21

Sumber: Hasil penelitian (2017)

3.8. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Penutupan setelah penyelesaian, yaitu benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan;
2. Perawatan untuk pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar untuk penerimaan atau pengendalian mutu;
 - a. Perawatan awal sesudah pencetakan :
 - i. Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16 sampai 27° C dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas;
 - ii. Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar;
 - iii. Jika benda uji tidak akan diangkat selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam \pm 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.
 - b. Perawatan standar sebagai berikut :
 - i. Benda uji silinder :

1. Dalam waktu 30 menit sesudah dilepas dari cetakan, harus disimpan dalam keadaan lembab pada suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$;
 2. Tidak lebih dari 3 jam sebelum pengujian pada suhu antara 20°C sampai 30°C ;
 3. Benda uji tidak boleh terkena tetesan atau aliran air;
 4. Penyimpangan dalam keadaan basah, yaitu dengan perendaman dalam air kapur jenuh atau dengan ditutupi kain basah;
 - ii. Benda uji balok harus dirawat sama seperti benda uji silinder kecuali sekurang-kurangnya 20 jam sebelum pengujian, balok harus disimpan dalam air kapur jenuh pada suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$.
3. Perawatan untuk menentukan saat pelepasan cetakan atau saat struktur boleh menerima beban :
- a. Silinder disimpan pada atau sedekat mungkin dengan struktur yang dan suhu serta kelembabannya harus sama;
 - b. Balok uji dan struktur yang diwakilinya harus memperoleh perawatan yang sama:
 - i. Balok uji dilepas dari cetakan setelah $48 \text{ jam} \pm 4 \text{ jam}$;
 - ii. Balok uji harus disimpan dalam air kapur pada suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ selama $24 \text{ jam} \pm 4 \text{ jam}$ sebelum pengujian.

3.9. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990).

3.9.1. Prosedur Pengujian

Untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara centris;

2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik;
3. Lakukan pembebanan sampai uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji;
4. Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

3.9.2. Perhitungan

Kekuatan tekan beton didapatkan dari uji tekan beton yang disesuaikan dengan waktu mengerasnya beton. Dalam peraturan, uji tekan beton dapat dilakukan jika beton berumur 28 hari.

1. Kuat tekan hancur individu adalah kemampuan benda uji untuk menahan gaya tekan atau kemampuan maksimum benda uji dalam menahan gaya tersebut yang menyebabkan kehancuran. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

- a. Jenis semen dan kualitas
- b. Jenis dan tekstur permukaan agregat
- c. Perawatan
- d. Suhu

Persamaan untuk perhitungan kuat tekan hancur individu (f_{ci}):

$$F_{ci} = \frac{\text{pembacaan dial} \times 100}{A \times \text{koreksi hari}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana : f_{ci} = kuat tekan hancur individu

A = luas benda uji

Koreksi hari = 1 untuk umur 28 hari

2. Kuat tekan hancur rata-rata adalah nilai rata-rata kuat tekan beton dari sejumlah beton yang sama jenisnya:

Persamaan untuk perhitungan kuat tekan hancur rata-rata (f_{cr}):

$$F_{cr} = \frac{\sum f_{ci}}{n} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana : f_{cr} = kuat tekan hancur rata – rata.

$\sum f_{ci}$ = jumlah nilai kuat tekan hancur individu.

n = jumlah benda uji untuk satu jenis perlakuan.

3. Kuat tekan karakteristik beton adalah kuat tekan dimana dari sejumlah pemeriksaan ada kemungkinan kuat tekan kurang dari kuat tekan yang disyaratkan.

Persamaan untuk perhitungan kuat tekan karakteristik ($f_c'k$):

$$F_c'k = f_{cr} - (1,34xs) \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana : $f_c'k$ = kuat tekan karakteristik

f_{cr} = nilai kuat tekan hancur rata – rata

4. Standart deviasi digunakan sebagai alat ukur tingkat kestabilan pada pekerjaan. Notasi 's' merupakan simpangan rata-rata yang diperbaharui dan juga merupakan ukuran dispersi yang lebih umum dipergunakan. Standart deviasi dalam kenyataannya sangat penting hingga menjadi standart ukuran dispersi . Kuadrat dari standart deviasi disebut varian s^2 .

Persamaan Untuk Perhitungan Standart Deviasi (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cr} - f_{ci})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana : s = standart deviasi

f_{cr} = kuat tekan hancur rata – rata

f_{ci} = kuat tekan hancur individu

N = jumlah benda uji

5. Slump adalah selisih perbedaan penurunan beton sebelum dan sesudah slump tes diangkat. Langkah langkah penentuan nilai slump:
- Kerucut slump test diisi beton segar.
 - Perojokan sebanyak 25 kali setiap sepertiga dari tinggi kerucut slump, lakukan hingga terisi penuh beton segar.
 - Pengangkatan kerucut slump test.
 - Ukur dan catat penurunan yang terjadi.

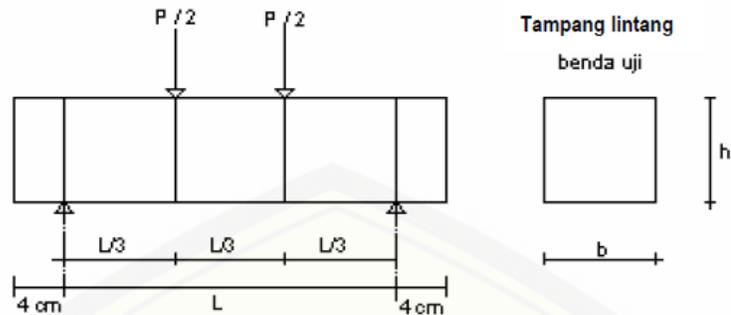
3.10. Uji Kuat Lentur

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4431:2011)

3.10.1. Prosedur Pengujian

1. Hidupkan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan, tunggu kira – kira 30 detik.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Atur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan.
4. Atur katup – katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan – lahan dan kecepataannya $8 \text{ kg/cm}^2 - 10 \text{ kg/cm}^2$ tiap menit.
5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat – saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
6. Hetikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan patahnya benda uji.
7. Ambil benda uji yang telah selesai diuji, yang dapat dilakukan dengan menurunkan plat perletakan beda uji atau menaikkan alat pembabanannya.
8. Ukur dan catat lebar dan tinggi tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm sedikitnya pada 3 tempat dan ambil harga rata – ratanya.
9. Ukur dan catat jarak antara tampang lintang patah dari tumpuan luar terdekat pada 4 tempat di bagian tarik pada arah bentang dan ambil harga rata – ratanya.

3.10.2. Perhitungan



Gambar 3.3. Skema pengujian kuat lentur

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:

$$\sigma_1 = \frac{P \times L}{(b \times h^2)} \dots\dots\dots(3.14)$$

Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada diluar 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.

$$\sigma_1 = \frac{P \times a}{(b \times h^2)} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana : σ_1 = kuat lentur benda uji (MPa)

P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)

L = panjang balok (cm atau mm)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

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

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya mengenai pengaruh penambahan limbah botol plastik PET dan juga resin sebagai bahan tambah pada beton dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Karakteristik beton yang menggunakan limbah plastik PET dan resin dari segi kuat lentur adalah sebagai berikut :

- a. Kuat lentur beton yang dihasilkan pada penambahan PET sebanyak 0% adalah 2,895 MPa,
- b. Pada penggunaan limbah plastik PET, nilai kuat lentur untuk penambahan serat plastik sebanyak 0,4% mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 10.85% , yaitu 3.209 MPa, sedangkan dengan penambahan 0,6% nilai kuat lenturnya masih mengalami peningkatan sebesar 30.54%, yaitu 3.799 MPa,
- c. Pada penggunaan limbah plastik PET dan resin, nilai kuat lentur untuk penambahan serat plastik sebanyak 0,4% mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 50.12% , yaitu 4.346 MPa, sedangkan dengan penambahan 0,6% nilai kuat lenturnya masih mengalami peningkatan sebesar 18.38%, yaitu 3.427 MPa,
- d. Pada penggunaan limbah plastik PET, resin dan pasir, nilai kuat lentur untuk penambahan serat plastik sebanyak 0,4% mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 28.39% , yaitu 3.717 MPa, sedangkan dengan penambahan 0,6% nilai kuat lenturnya masih mengalami peningkatan sebesar 16.55%, yaitu 3.374 MPa,

Pada penggunaan limbah plastik tersebut rata – rata kuat lentur beton mengalami penurunan kekuatan seiring dengan penambahan limbah botol plastik PET pada beton, hal ini dikarenakan menurunnya daya rekat khususnya didaerah sekitar penambahan plastik PET karena semakin banyaknya plastik PET pada campuran beton.

Berdasarkan hasil uji kuat lentur, variasi dan prosentase yang paling optimal dalam meningkatkan kuat lentur adalah penambahan PET dan resin sebanyak 0,3%

yang mampu meningkatkan kuat lentur beton sebanyak 51.78% dibandingkan dengan yang tanpa penambahan serat plastik.

2. Model keruntuhan yang terjadi pada semua variasi benda uji yaitu keruntuhan lentur dikarenakan retakan beton terjadi pada daerah tengah bentang dan searah tegak lurus sumbu balok.

5.2. Saran

Saran terkait dengan penelitian yang sudah dilakukan antara lain :

1. Penambahan prosentase pada masing – masing variasi guna memperjelas kenaikan dan penurunan kuat lentur pada grafik,
2. Tata perletakan plastik alangkah baiknya disusun dengan tatanan yang sama antara variasi maupun prosentase,
3. Perlu dilakukan pengujian dengan jumlah plastik PET dengan jumlah yang sama bukan dari prosentase semen yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Joksan. 2015. *Pengaruh Resin Epoksi Terhadap Mortar Polimer Ditinjau dari Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Daya Serap Air dan Scanning Electron Microscope*. JRSDD. Volume 3. Nomor 3. pp361–370. Lampung
- Badan Standarisasi Nasional (BSN), *Tata Cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung*(SNI 03 - 2847 - 2002)
- Chandra J. 2008. *Pengaruh Pemakaian Cacahan Limbah Gelas Plastik Polypropylene (PP) pada kuat tarik dan kuat lentur beton*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Dipohusodo, I. 1993. *Struktur Beton Bertulang: Berdasarkan SK. SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*.
- Faiq, Laila, t.t, *Arti 7 Simbol Pada Kemasan Plastik*, http://www.academia.edu/14805927/Arti_7_Simbol_Pada_Kemasan_Plastik, (diakses tanggal 13 Maret 2017)
- Gemert VD, Czarnecki L, Lukowski P, & Karpen E, 2004. *Cement Concrete and Concrete-Polymer Composites*. Belgium: Katolik Universiti Leuven.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (1991). SK SNI T-15-1991-03.
- Kanisius.Sina, Dantje A. T. dkk. 2012. *Pengaruh Penambahan Cacahan Limbah Plastik Jenis High Density Polyethylene (HDPE) pada Kuat Lentur Beton*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 1 No. 4. Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- Lestario, Bambang Mahendya. 2008. *Penggunaan Limbah Plastik (PET) sebagai Campuran Beton untuk Meningkatkan Kapasitas Tarik Belah dan Geser*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Mulyono, Tri. 2003, *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI Yogyakarta ASTM C.494. *Standard Spesification for Chemical Admixture Concrete*.
- Nugraha, P dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.

- SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1990.
- SNI 03-1973-1990, *Metode Pengujian Berat Isi Beton*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1990.
- SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1990.
- SNI 03-2834-2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Puslitbang Teknologi Permukiman, Jakarta. 2000.
- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Bandung. 2002.
- SNI 1970:2008, *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 2008.
- SNI 1969:2008, *Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 2008.
- SNI 4431:2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*, Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Bandung. 2011.
- Surono, Budi Untoro. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Jurnal Teknik. 3(1): 32-40.
- Susilo, Tunggul, 2016, *Volume Sampah di Jember Terus Meningkat*, <https://antaranews.com/lihat/berita/182346/volume-sampah-di-jember-terus-meningkat.html>, (diakses tanggal 12 November 2016).
- Suyadi. 2010. *Kaji Eksperimen Kekuatan Tarik Produk - Produk Berbahan Plastik Daur Ulang*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Wahyuni, Tri, 2016, *Indonesia Penyumbang Sampah Terbesar Ke-dua Dunia*, <https://cnnindonesia.com/gaya-hidup/20160222182308-277112685/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-ke-dua-dunia.html>, (diakses tanggal 12 November 2016)

LAMPIRAN

Lampiran A. Dokumentasi Penelitian



(a)



(b)



(c)

(a) Cacahan Plastik PET; (b) PET yang dilapisi Resin dan Pasir; (c) Penimbangan Pasir
Gambar A.1. Persiapan Bahan



Gambar A.2. Proses Pengayakan



(a)



(b)



(c)

(a) Pengecoran; (b) Perletakan PET; (c) Pengujian Slump
Gambar A.3. Pembuatan Benda Uji



Gambar A.4. Tahap Perawatan Benda Uji



(a)



(b)

(a) Hasil Pengujian Kuat Tekan; (b) Pengujian Kuat Lentur
Gambar A.5. Tahap Pengujian

Lampiran B. Data – Data Penelitian

Tabel B.1. *Mix Design*

No	Uraian	Tabel / Grafik	Nilai	
1	Kuat tekan yang disyaratkan f_c'	Ditetapkan	30	MPa
2	Deviasi standar, s	Ditetapkan	4.5	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	1.64 x s	7.2	MPa
4	Kuat tekan rata - rata yang di targetkan	1 + 3	37.2	MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC	
6	Jenis Agregat : - Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah	
	: - Halus	Ditetapkan	Pasir Lumajang	
7	Faktor air semen Bebas	tabel dan Grafik	0.5	
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.6	
9	Slump	Ditetapkan	100 ± 20	Mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	10	Mm
11	Kadar Air Bebas	tabel	233.33	Kg/m ³
12	Jumlah Semen	9 / 7 atau 9 / 8	467	Kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	Kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	Kg/m ³
15	Zona Agregat	grafik Zona	Zona 2	
16	Presentase Agregat Halus	Grafik	52	%
17	Berat Jenis Agregat	diketahui hitungan	2.67	
18	Berat Jenis Beton	Grafik	2350	Kg/m ³
19	Kadar Agregat Gabungan	18 - 12 - 11	1650	Kg/m ³
20	Kadar Agregat Halus	16 x 19	858	Kg/m ³
21	Kadar Agregat Kasar	19 - 20	792	Kg/m ³

Tabel B.2. Perhitungan Kuat Tekan

Benda Uji	P (KN)	A(cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Rata – rata 1 pasang (MPa)	Rata – rata Xrt (MPa)	(Xi – Xrt) ²	Sd	X
1 A	186.27	78.5	351.02	34.40	32.34	32.69	2.91	2.64	28.36
1 B	163.95	78.5	308.95	30.28			5.84		
2 A	192.18	78.5	362.15	35.49	33.05		7.82		
2 B	165.74	78.5	312.33	30.61			4.35		
Σ							20.92		

Tabel B.3. Perhitungan Kuat Lentur

Variasi	Benda Uji	P (KN)	Kuat Lentur (MPa)	Rata – rata Xrt (MPa)	(Xi – Xrt) ²	Sd	X
Normal	1	19.003	2.927	2.934	0.00004	0.024	2.895
	2	18.919	2.914		0.00039		
	3	19.211	2.960		0.00069		
PET 0,4%	1	22.006	3.390	3.568	0.03168	0.219	3.209
	2	24.742	3.812		0.05954		
	3	22.734	3.502		0.00436		
PET 0,6%	1	27.725	4.272	4.130	0.02031	0.202	3.799
	2	21.375	3.293		-		
	3	25.878	3.987		0.02031		
PET + Resin 0,4%	1	29.535	4.550	4.468	0.00672	0.075	4.346
	2	28.589	4.404		0.00410		
	3	28.882	4.450		0.00032		
PET + Resin 0,6%	1	26.408	4.068	3.815	0.06384	0.237	3.427
	2	23.358	3.598		0.04723		
	3	24.534	3.780		0.00125		

Variasi	Benda Uji	P (KN)	Kuat Lentur (MPa)	Rata – rata Xrt (MPa)	$(X_i - X_{rt})^2$	Sd	X
PET + Resin + Pasir 0,4%	1	27.165	4.185	3.999	0.03460	0.172	3.717
	2	24.962	3.846		0.02341		
	3	25.743	3.966		0.00109		
PET + Resin + Pasir 0,6%	1	23.589	3.634	3.877	0.05937	0.307	3.374
	2	27.414	4.223		0.11926		
	3	24.513	3.776		0.01034		