



TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *BINDER THERMOPLASTIC*
LDPE DAN PET TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
PARTIKULAT UNTUK APLIKASI MATERIAL BANGUNAN**

Dwiki Pratama Putra
NRP. 2714 100 124

Dosen Pembimbing :
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc
Ridho Bayuaji, S.T., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *BINDER THERMOPLASTIC*
LDPE DAN PET TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
PARTIKULAT UNTUK APLIKASI MATERIAL BANGUNAN**

Dwiki Pratama Putra
NRP. 2714 100 124

Dosen Pembimbing :
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc
Ridho Bayuaji, S.T., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**STUDY OF THE EFFECT OF LDPE AND PET
THERMOPLASTIC BINDER ADDITION ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICULATE
COMPOSITES FOR BUILDING MATERIAL
APPLICATION**

Dwiki Pratama Putra
NRP. 02511440000124

ADVISOR

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc
Ridho Bayuaji, S.T., MT., Ph.D

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

(Halaman sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN BINDER THERMOPLASTIC
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN LOW DENSITY
POLYETHYLENE TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT
PARTIKULAT UNTUK APLIKASI MATERIAL BANGUNAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DWIKI PRATAMA PUTRA
NRP. 2714100124

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.T., M.Si., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)
3. Ridho Bayuaji, ST., M.T., Ph.D. (Pembimbing III)



(Halaman sengaja dikosongkan)

**STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *BINDER*
THERMOPLASTIC LDPE DAN PET TERHADAP SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT PARTIKULAT UNTUK APLIKASI
MATERIAL BANGUNAN**

Nama Mahasiswa : Dwiki Pratama Putra
NRP : 2714 100 124
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, ST., M.Si.,
Ph.D
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc
Ridho Bayuaji S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Sampah plastik telah lama menjadi permasalahan kota-kota besar, tidak hanya di Indonesia namun juga di dunia karena sangat sulit untuk teruraikan secara alami. Tujuan penelitian ini adalah membuat material komposit dengan binder thermoplastic dari sampah plastik LDPE dan PET yang biasa ditemukan dalam bungkus makanan dan botol air mineral serta agregat pasir yang memenuhi kriteria untuk aplikasi material bangunan. Pengujian yang dilakukan meliputi SEM, FTIR, kompresi, bending, absorbability, dan densitas. Penambahan binder thermoplastik cenderung meningkatkan sifat mekanik material komposit. Didapatkan Kekuatan kompresi maksimal sebesar 15,68 MPa pada komposit dengan komposisi binder sebesar 45%. Komposit yang dihasilkan memenuhi kriteria untuk beton ringan struktural dan paving block jenis C dan D.

Kata Kunci: *Sampah plastik, LDPE, PET, Komposit, Material Bangunan*

(Halaman sengaja dikosongkan)

STUDY OF THE EFFECT OF LDPE AND PET THERMOPLASTIC BINDER ADDITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICULATE COMPOSITES FOR BUILDING MATERIAL APPLICATION

Name : Dwiki Pratama Putra
NRP : 2714 100 124
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Sigit Tri Wicaksono, ST., M.Si.,
Ph.D
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc
Ridho Bayuaji S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Plastic waste has long been the problem of big cities, not only in Indonesia but also in the world because plastic wastes have very bad biodegradability properties very difficult to detail naturally. The purpose of this study is to produce composite material with thermoplastic binder from plastic waste of LDPE and PET that are usually found in packaging and mineral water bottle and sand aggregates that meet the criteria for building material applications. Tests conducted SEM, FTIR, compression, bending, absorbability, and density. The addition of thermoplastic binders will improve the mechanical properties of the composite material. Maximum compressive strength of the composite is 15.68 MPa on composite with composition of binder of 45%. Composites that meet criteria for lightw structural concrete and paving blocks of type C and D.

Keywords: Plastic waste, LDPE, PET, Composite, Building Materials

(Halaman sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“STUDI PENGARUH PENAMBAHAN *BINDER THERMOPLASTIC* LDPE DAN PET TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT PARTIKULAT UNTUK APLIKASI MATERIAL BANGUNAN”** sebagai salah satu persyaratan untuk mendapat gelar Sarjana Teknik (S.T).

Laporan Tugas Akhir ini tidak akan bisa penulis selesaikan tanpa adanya dukungan dan bantuan dari orang-orang terdekat. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya.
2. Bapak, ibu, dan kakak yang telah mendidik dan membesarkan penulis sejak kecil.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan ide dan bimbingan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Amaliya Rasyida S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan masukan dan kritik yang konstruktif untuk Laporan Tugas Akhir ini.
5. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
7. Tirza Aisyah Khairunnisa yang selalu setia pada kondisi susah maupun senang.
8. Partner Tugas Akhir penulis Suswanto.
9. Teman-teman se-jurusan yang selalu setia menemani di Surabaya yaitu Rama, Pandu, Argya, Eja, Rifki, Afiq, Ibe, Ogi, Emral, Ical, Noer.
10. Seluruh teman-teman MT16.

11. Teman-teman Brengsboy di Jakarta dan sekitarnya Temi, Almer, Aufar, Chico, Alief, Imaro, Elang.
12. Keluarga Kementerian Hubungan Luar Badan Eksekutif Mahasiswa ITS 2015/2016.
13. Seluruh anggota “*Plastic Waste Project*” atas bantuannya dalam menyelesaikan proyek ini.
14. Teman-teman satu kos Bumi Marina Emas E 72.
15. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, inspirasi, dan motivasi yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari banyak sekali kekurangan. Harapan penulis adalah Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat dan juga inspirasi kepada seluruh pembaca nya untuk mebuat kehidupan yang lebih baik.

Surabaya, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Polimer	5
2.1.1 Pengenalan.....	5
2.1.2 Molekul Polimer	5
2.1.3 Struktur Molekul.....	7
2.2 Plastik	10
2.2.1 Polimer Thermoplastik.....	11
2.2.2 Polimer Thermosetting.....	12

2.3 <i>Polyethylene</i>	13
2.4 <i>Polyethylene Terephthalate</i>	15
2.5 Material Komposit	16
2.5.1 Komponen Komposit	17
2.5.2 Komposit Partikulat	19
2.6 Beton	20
2.6.1 Klasifikasi Beton.....	21
2.6.2 Beton Semen Portland.....	22
2.6.3 <i>Reinforced Concrete</i>	23
2.6.4 Karakteristik Beton	24
2.6.5 Beton Ringan	25
2.7 <i>Polymer Concrete (PC)</i>	27
2.8. <i>Polymer Modified Concete (PMC)</i>	28
2.9 <i>Paving Block</i>	30
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	31

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian	35
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	36
3.2.1 Bahan Penelitian	36
3.2.2 Peralatan Penelitian	36
3.3. Variabel Penelitian	42
3.4. Metode Penelitian	42
3.4.1 Persiapan Bahan	42
3.4.2 Proses Pengujian.....	44

3.5. Rancangan Penelitian	50
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Uji Kompresi	51
4.2 Uji Bending	54
4.3 Uji Densitas	58
4.4 Uji <i>Absorbability</i>	62
4.5 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	63
4.6 Analisa Hasil FTIR	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxv

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ikatan Polimer Karbon Atom	6
Gambar 2.2 Tabel Kelompok Hidrokarbon	6
Gambar 2.3 Struktur Molekul Polimer Linear	7
Gambar 2.4 Struktur Molekul Polimer <i>Branched</i>	8
Gambar 2.5 Struktur Molekul Polimer <i>Crosslinked</i>	9
Gambar 2.6 Struktur Polimer <i>Network</i>	10
Gambar 2.7 Struktur Rantai <i>Polyethylene</i>	13
Gambar 2.8 Reaksi Pembentukan (PET)	16
Gambar 2.9 Skema Klasifikasi Beberapa Tipe Komposit.....	19
Gambar 2.10 Sketsa Komposit Partikel	20
Gambar 2.11 Struktur Beton.....	22
Gambar 2.12 <i>Paving Block</i> Menggunakan Semen Portland	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 Kompor Gas Portable.....	36
Gambar 3.3 <i>Blowtorch/Gas Torch</i>	37
Gambar 3.4 Wajan.....	38
Gambar 3.5 Timbangan digital	38
Gambar 3.6 Mesin pencacah plastik	39
Gambar 3.7 Mesin <i>Scanning Electron Microscope</i>	39
Gambar 3.8 Mesin FTIR	40
Gambar 3.9 Mesin Uji Bending.....	40
Gambar 3.10 Oven	41
Gambar 3.11 Prinsip Kerja SEM	45
Gambar 3.12 Skema Uji FTIR.....	46

Gambar 3.13 Spesimen Uji Kompresi	47
Gambar 3.14 Dimensi Spesimen Uji <i>Bending</i>	48
Gambar 3.15 Spesimen Uji <i>Absorbability</i>	49
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekuatan Kompresi Komposit.....	52
Gambar 4.2 Grafik Nilai Kekuatan <i>Bending</i> Komposit	56
Gambar 4.3 Grafik Nilai Massa Jenis Komposit	59
Gambar 4.4 Grafik Nilai <i>Absorbability</i> Komposit.....	62
Gambar 4.5 Hasil uji SEM Dengan Perbesaran 500x	64
Gambar 4.6 Hasil Uji FTIR Komposit.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya	25
Tabel 2.2 Jenis-jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya.....	26
Tabel 2.3 Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987)	27
Tabel 2.4 Tabel Klasifikasi Mutu <i>Paving Block</i>	31
Tabel 3.1 Variabel Penelitian Komposit.....	42
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian	50
Tabel 4.1 Hasil Uji Kompresi.....	51
Tabel 4.2 Hasil Uji Kompresi Berdasarkan Jenis <i>Binder</i>	53
Tabel 4.3 Hasil Uji <i>Bending</i>	55
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Bending</i> Berdasarkan Jenis <i>Binder</i>	57
Tabel 4.5 Hasil Uji Densitas.....	58
Tabel 4.6 Hasil Uji Densitas Berdasarkan Jenis <i>Binder</i>	60
Tabel 4.7 Hasil Uji Penyerapan Air.....	61
Tabel 4.8 Hasil Uji Penyerapan Air Berdasarkan Jenis <i>Binder</i>	63
Tabel 4.9 Nilai % <i>Void</i> Spesimen Komposit	65
Tabel 4.10 Daerah Serapan Komposit Dengan Komposisi 20% wt, LDPE, 15% WT PET, dan 65% wt Pasir	67
Tabel 4.11 Daerah Serapan PET.....	68
Tabel 4.12 Daerah Serapan LDPE.....	69

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB I

LATAR BELAKANG

1.1. Latar Belakang

Sampah telah menjadi permasalahan lingkungan hidup yang dihadapi oleh masyarakat Indonesia dan dunia. Setiap manusia di dunia setiap harinya membuang sampah ke lingkungan dengan jenis yang berbeda-beda. Dari berbagai jenis sampah yang dibuang tersebut plastik masih menjadi penyumbang terbesar sampah di dunia. Manusia membuang sampah plastik ke lingkungan dalam bentuk kantong plastik, botol minuman, sisa produk rumah tangga, dan lain-lain. Jika tidak dikelola secara serius, pencemaran sampah jenis ini akan sangat berbahaya bagi kelanjutan planet bumi.

Kota-kota di dunia menghasilkan sampah plastik 1,3 miliar ton setiap tahunnya. Menurut perkiraan Bank Dunia, jumlah ini akan bertambah hingga 2,2 miliar ton pada tahun 2025. Diperkirakan pada tahun 2013 manusia di dunia memproduksi sampah plastik sebanyak 299 juta ton. Di Indonesia plastik juga menjadi masalah yang belum ditemukan solusinya. Indonesia menjadi negara penghasil sampah plastik terbesar ke-dua di dunia setelah Cina dengan produksi sampah plastik sebesar 65 juta ton per tahunnya.

Dari berbagai macam jenis plastik, plastik yang paling banyak dibuang ke lingkungan adalah jenis Polyethylene (*Low Density* dan *High Density*) dan juga PET (Polyethylene Terephthalate) yang biasanya dalam bentuk kantong plastik



dan botol plastik. Plastik memiliki beberapa sifat keunggulan yaitu tahan korosi, tahan lama, isolator yang baik, murah, dan fabrikasi yang mudah. (Tapkire & Parihar, 2014)

Beberapa potensi bahan bangunan yang dapat diproduksi dengan bahan plastik adalah beton, *paving block*, ubin, genteng, dan dinding. Bahan bangunan dapat dibuat dari material komposit dengan menggunakan bahan plastik sebagai *binder* (Fowler, 1999). Diharapkan melalui adanya riset dalam pengolahan limbah plastik menjadi material bangunan ini dapat mengurangi jumlah plastik yang ada dalam skala yang besar. Dan diharapkan juga dengan adanya riset tentang pengolahan limbah plastik menjadi material konstruksi ini dapat dijadikan inspirasi dan referensi yang baik untuk orang-orang atau perusahaan yang dapat menciptakan industri pengolahan limbah plastik yang memiliki banyak manfaat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh penambahan *binder* thermoplastik terhadap sifat mekanik dan sifat fisik pada komposit yang terbuat dari campuran LDPE, PET, dan pasir?
- 2) Material komposit dengan komposisi manakah yang memenuhi kriteria dan dapat diaplikasikan sebagai material bangunan?



1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya sangat kecil pada penelitian sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- 1) Kadar uap air dan gas pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
- 2) Pengotor pada saat pencampuran polimer dan agregat dapat diabaikan.
- 3) Distribusi polimer merata pada pencampuran dengan agregat.
- 4) Nilai densitas dari air dianggap sama dengan 1 gr/cm^3

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

- 1) Menganalisis pengaruh penambahan *binder* thermoplastik terhadap sifat mekanik dan sifat fisik pada komposit yang terbuat dari campuran LDPE dan pasir.
- 2) Membuat material komposit dengan komposisi yang memenuhi kriteria dan dapat diaplikasikan sebagai material bangunan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- 1) Menciptakan komposit yang dapat memenuhi kebutuhan material bangunan dengan penggunaan



limbah plastik sebagai peningkat dari *properties* untuk material konstruksi tersebut.

- 2) Memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan dari pembuatan komposit yang dapat memberikan dampak lingkungan yang positif dengan adanya pengurangan sampah plastik dalam jumlah yang besar.
- 3) Dapat dijadikan alternatif untuk pengolahan limbah plastik yang efisien dan ramah lingkungan.
- 4) Dapat dijadikan referensi dan inspirasi yang baik untuk memajukan industri pengolahan limbah plastik yang dapat memberikan dampak ekonomi yang positif.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Polimer

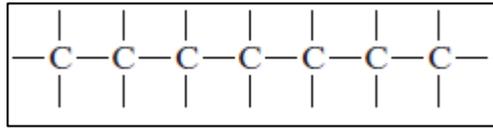
2.1.1 Pengenalan

Polimer adalah molekul besar atau makromolekul yang terbentuk dari subunit yang berulang-ulang dan banyak. Karena jangkauan *properties* yang luas, baik sintetis maupun polimer alami dapat menjadi peran yang signifikan dalam kehidupan sehari-hari manusia. Polimer bermacam-macam mulai dari plastik sintetis seperti *polystyrene* sampai ke biopolymer alami seperti DNA dan protein. Polimer, baik yang alami maupun yang sintetis dibuat dari hasil polimerisasi dari molekul-molekul kecil yang banyak yang disebut monomer.

Polimer alami yang berasal dari tumbuhan dan hewan telah digunakan selama berabad-abad. Polymer alami ini contohnya kayu, karet, katun, wol, kulit, dan sutra. Pada beberapa aplikasi material seperti logam dan keramik telah digantikan oleh material berbasis dasar polimer seiring dengan berkembangnya teknologi dalam bidang polimer. (Callister, 2007)

2.1.2 Molekul Polimer

Molekul polimer disebut makromolekul karena molekulnya yang berukuran besar. Setiap molekulnya terikat satu sama lain melalui ikatan interatomic kovalen. **Gambar 2.1** menunjukkan bagaimana atom Karbon saling berikatan satu sama lain membentuk ikatan polimer.



Gambar 2.1 Ikatan Polymer Karbon Atom (Callister, 2007)

Molekul-molekul panjang ini terbentuk dari satu kesatuan yang disebut *repeat units* yang tersusun berulang membentuk suatu rantai ikatan. Monomer adalah molekul kecil di mana polimer akan disintesa. **Gambar 2.2** menunjukkan pembagian kelompok ikatan Hidrokarbon beserta bentuk ikatan polimer nya. Di antaranya adalah alcohol, ether, asam, aldehida, dan aromatik.

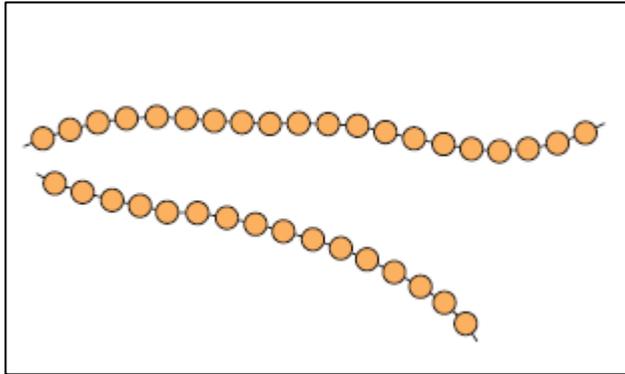
Family	Characteristic Unit		Representative Compound
Alcohols	$R-OH$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H \end{array}$	Methyl alcohol
Ethers	$R-O-R'$	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C-O-C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	Dimethyl ether
Acids	$R-C(=O)OH$	$\begin{array}{c} H & OH \\ & // \\ H-C & -C \\ & \\ H & O \end{array}$	Acetic acid
Aldehydes	$R-C(=O)H$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C=O \\ \\ H \end{array}$	Formaldehyde
Aromatic hydrocarbons	R (on benzene ring)		Phenol
^a The simplified structure denotes a phenyl group,			

Gambar 2.2 Tabel Kelompok Hidrokarbon (Callister, 2007)



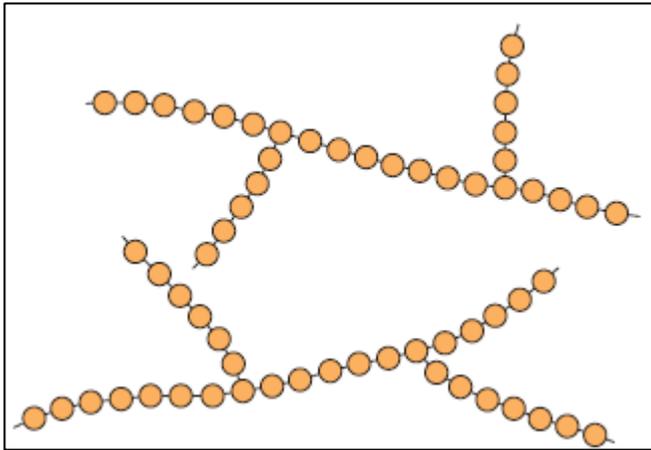
2.1.3 Struktur Molekul

Karakteristik fisik dari polimer tidak hanya tergantung oleh berat molekul dan bentuknya, namun juga dari perbedaan pada struktur dari rantai molekul nya.



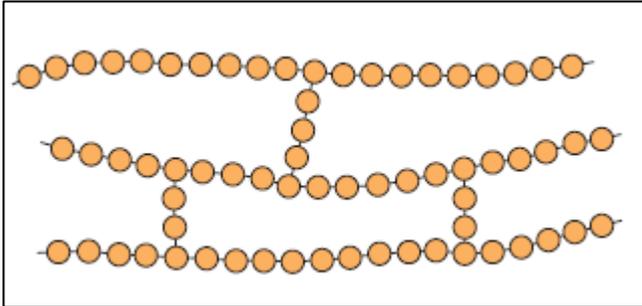
Gambar 2.3 Struktur Molekul Polimer Linear (Callister, 2007)

Polimer linear adalah jenis polimer yang *repeat unit* nya disambungkan bersama-sama pada ujung-ujungnya. **Gambar 2.3** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur linear. Polimer jenis ini memiliki karakteristik yang flexibel. Beberapa jenis polimer linear adalah *polyethylene*, *poly(vinyl chloride)*, *polystyrene*, *poly(methyl methacrylate)*, nilon dan, *fluorocarbons*.



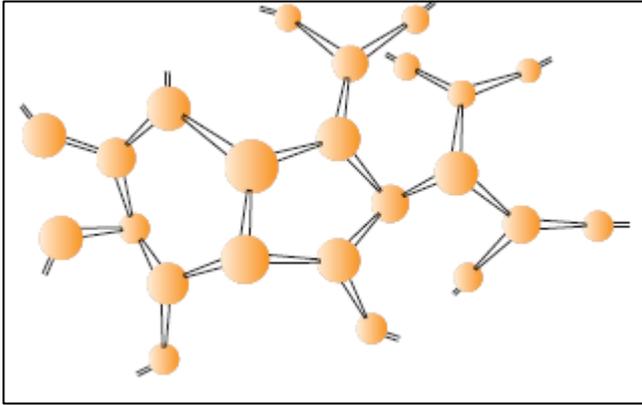
Gambar 2.4 Struktur Molekul Polimer *Branched* (Callister, 2007)

Polimer *branched* atau adalah jenis polimer yang memiliki *side-branch chain* yang terhubung dengan inti dari rantai polimer lainnya. **Gambar 2.4** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *branched*. Polimer jenis memiliki karakteristik berikatan dengan bercabang ke rantai yang lainnya. Beberapa jenis polimer linear juga dapat dikategorikan sebagai polimer bercabang seperti *High Density Polyethylene* (HDPE).



Gambar 2.5 Struktur Molekul Polimer *Crosslinked* (Callister, 2007)

Pada polimer jenis *crosslinked* rantai linear yang berseberangan berikatan satu sama lain pada beberapa posisi. **Gambar 2.5** menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *crosslinked*. Rantai-rantai polimer berikatan karena adanya ikatan kovalen. *Crosslinking* biasanya dapat dihasilkan dengan penambahan zat atom ataupun molekul aditif yang dapat berikatan secara kovalen dengan rantai. Proses ini biasa disebut dengan nama vulkanisasi. Polimer jenis ini kebanyakan memiliki *properties* yang elastis seperti karet.



Gambar 2.6 Struktur Polimer *Network* (Callister, 2007)

Gambar 2.6 menunjukkan gambar ikatan dari polimer yang memiliki struktur *network*. Struktur polimer *network* terjadi ketika *multifunctional* monomer membentuk tiga atau lebih ikatan kovalen aktif yang membuat jaringan tiga-dimensi. Polimer yang sangat *crosslink* juga dapat dikategorikan sebagai polimer *network*. Polimer jenis ini memiliki sifat mekanik dan sifat thermal yang spesifik. Beberapa contoh polimer jenis ini adalah epoxy dan *polyurethane*. (Callister, 2007)

2.2. Plastik

Plastik adalah material yang mengandung satu atau lebih polimer yang memiliki berat molekul yang besar. Plastik terdiri dari beberapa jenis seperti sintetik atau semi-sintetik senyawa organik yang dapat ditempa sehingga bisa dibentuk atau dituang ke dalam objek yang padat. Melihat ke permasalahan global tentang polusi lingkungan yang disebabkan oleh sampah plastik, usaha dalam melakukan riset telah difokuskan untuk mengurangi jumlah



sampah plastik dalam jumlah yang banyak dengan cara yang efisien dan ramah lingkungan.

Para ilmuwan merencanakan untuk menggunakan sampah plastik sebagai bahan dalam pembuatan beton dan beton adalah material paling dicari kedua oleh manusia setelah air. Kegunaan dari sampah plastik pada beton tidak hanya akan membuat metode pembuangannya menjadi aman namun juga dapat meningkatkan *properties* dari beton itu sendiri seperti kekuatan tarik, ketahanan kimia, *drying shrinkage*, dan *creep* dalam basis yang pendek dan panjang. (Tapkire & Parihar, 2014)

Mengapa plastik: Polimer memiliki beberapa sifat yang penting yang dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan *properties* dari bahan konstruksi :

- Tahan terhadap korosi
- Isolator dingin, panas yang baik
- Ekonomis dan memiliki *lifespan* yang panjang
- Tidak memerlukan *maintenance*
- Higienis dan bersih
- Pembuatan/pemasangan yang mudah
- Berat yang ringan

2.2.1 Polimer Thermoplastik

Respon dari polimer terhadap gaya mekanik pada temperatur yang tinggi memiliki hubungan dengan struktur dominan dari polimer tersebut. Berdasarkan perilaku polimer pada temperatur tinggi, polimer diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Pada *thermoplastic* polimer, ketika dipanaskan akan melunak dan ketika didinginkan akan mengeras. Proses nya dapat dibalik dan dapat diulang.



Pada temperatur yang tinggi gaya ikatan sekunder pada polimer melemah dan pergerakan molekul meningkat. Polimer jenis *thermoplastic* cenderung lunak. Berdasarkan struktur molekulnya polimer linear dan beberapa *branched polymer* yang memiliki rantai yang flexibel termasuk ke dalam kategori *thermoplastic*. Beberapa contoh *thermoplastic* yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah *polyethylene*, PET, dan PVC. (Callister, 2007)

2.2.2 Polimer Thermosetting

Polimer thermosetting adalah jenis dari polimer yang ketika dipanaskan tidak melunak. Polimer jenis ini mengeras secara permanen pada pembentukannya. Berdasarkan struktur molekulnya polimer thermosetting adalah *network polymer* yang memiliki *mechanical* dan *thermal properties* yang spesifik.

Pada saat perlakuan panas, ikatan pada rantai polimer *thermoset* akan menguatkan diri satu sama lain pada rantainya untuk menahan pergerakan vibrasi dan rotasi. Maka dari itu, polimer thermosetting dapat tetap stabil dan tidak melunak meskipun dihadapkan pada temperatur yang tinggi. Namun pada temperatur yang berlebihan polimer thermosetting akan berubah bentuk dan terdegradasi. Polimer jenis ini lebih keras dan lebih kuat dibandingkan dengan polimer thermoplastik. Beberapa contoh polimer thermosetting adalah *vulcanized rubbers*, *epoxies*, dan polyester resin. (Callister, 2007)

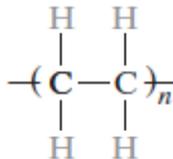
2.3 Polyethylene

Polyethylene adalah polimer thermoplastik dan jenis plastik yang paling umum dan paling banyak digunakan oleh manusia. Plastik *polyethylene* dipakai untuk pembuatan kantong



plastik, kemasan makanan, botol minuman, dan lain-lain. Beberapa keunggulan dari *polyethylene* adalah ringan, ketahanan kimia yang baik, dan ketangguhan yang baik. *Polyethylene* sangat mudah untuk diproduksi *injection molding*, *sheet extrusion*, *film extrusion*, dan lain-lain.

Polyethylene jenisnya sangat banyak seperti *low-density polyethylene* (LDPE), *linear low-density polyethylene* (LLDPE), *high-density polyethylene* (HDPE), dan *ethylene copolymer* seperti *ethylene-vinyl acetate* (EVA), *ethylene-ethyl-acrylate* (EEA), dan *ultra-high-molecular-weight polyethylene* (UHMWPE). (Brady & Clauser)



Gambar 2.7 Struktur Rantai *Polyethylene* (Callister, 2007)

Bentuk dasar dari *polyethylene* adalah atom Hidrogen dan Karbon. **Gambar 2.7** menunjukkan struktur rantai dari *polyethylene*. Atom-atom ini tergabung dari monomer *ethylene* yang berulang-ulang berupa C_2H_4 yaitu dua atom Karbon dan empat atom Hidrogen. Pada proses polimerisasi, ikatan ganda menghubungkan atom Karbon terpecah. Pada kondisi yang baik, ikatan ini akan terbentuk ulang dengan molekul monomer *ethylene* untuk membentuk ikatan molekul yang panjang. Terdapat tiga sifat molekular yang mempengaruhi *properties* dari *polyethylene*: *crystallinity* (*density*), berat molekul rata-rata, dan distribusi berat molekul.



Untuk *polyethylene*, semakin tinggi nilai *crystallinity*, semakin tinggi juga nilai massa jenis dari resin tersebut. Nilai massa jenis yang tinggi akan mempengaruhi banyak sifat. Massa jenis yang tinggi akan meningkatkan *heat-softening point*, ketahanan terhadap gas dan kelembaban permeasi uap, dan kekakuan akan meningkat. Namun, meningkatnya massa jenis akan menurunkan ketahanan terhadap retakan dan ketahanan pada temperatur rendah.

High-density polyethylene (HDPE) memiliki ikatan molekul dengan sedikit *branched chain*, maka dari itu rantainya lebih dekat satu sama lain dan menyebabkan massa jenisnya tinggi. Hasilnya adalah *crystallinity*nya naik sebesar 95%. HDPE dibuat pada temperatur yang tekanan yang rendah. *Melting point*nya 20° C lebih tinggi dari *low-density polyethylene* (LDPE).

Low-density polyethylene dibuat dalam temperatur dan tekanan yang tinggi. *Low-density polyethylene* (LDPE) resin memiliki *crystallinity* dari 60%-75%. LDPE memiliki banyak *branched chain* sehingga menyebabkan molekulnya yang saling berjauhan dan massa jenisnya turun. LDPE sangat flexibel. Titik lelehnya sekitar 110° C. Penggunaannya adalah untuk kantong plastik, isolator kabel, mainan, dan pelapis perkakas rumah.

Linear low-density polyethylene (LLDPE) secara struktur mirip dengan *low-density polyethylene*. Hanya saja pada LLDPE memiliki struktur yang linear pada *backbone*nya dan memiliki struktur *branches* yang pendek. Kelebihan dari LLDPE adalah pada proses polimerisasi memerlukan energi yang lebih sedikit. *Linear low-density polyethylene* (LLDPE) memiliki *crystallinity* sebesar 60%-85%.

Ultra-high Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) adalah jenis *polyethylene* yang memiliki berat molekul yang lebih

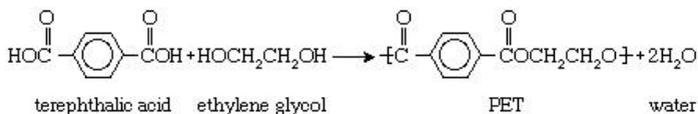


besar dari 2×10^6 dibandingkan dengan berat molekul dari HDPE yang hanya 500.000 unit atom. UHMWPE dapat dipintal menjadi serat dan dapat dicetak, yang menghasilkan *highly crystalline state* yang memiliki kekakuan yang tinggi dan kekuatan tarik yang berkali lipat lebih tinggi dari baja.

UHMWPE memiliki ketahanan terhadap abrasi, dan *stress cracking* yang tinggi dan juga kekakuan yang tinggi. Namun, dalam fabrikasi nya jauh lebih dari *polyethylene* standard karena membutuhkan teknik pembentukan yang khusus. Aplikasinya adalah pada benda yang membutuhkan ketahanan aus, ketahanan kimia yang tinggi, dan koefisien gesekan yang rendah. (Brady & Clauser)

2.4 Polyethylene Terephthalate (PET)

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah jenis polimer yang masuk ke dalam jenis *polyester*. PET memiliki sifat yang kuat dan kaku. PET banyak sekali digunakan untuk material pengemas. Botol minuman dan nampan makanan untuk *microwave* adalah aplikasi paling penting dari PET. PET resin terbuat dari *ethylene glycol* dan *terephthalic acid* atau *dimethyl ester* dari *terephthalic acid*. Orientasi dari PET adalah meningkatkan kekuatan tarik dan *water vapor transition* secara signifikan. (Mendivil-Escalante & Gomez Soberon, 2015)



Gambar 2.8 Reaksi Pembentukan (PET)



Gambar 2.8 menunjukkan proses reaksi pembentukan PET. Keberadaan *aromatic ring* yang besar pada *repeating unit* PET memberikan kekuatan dan kekakuan pada PET. Kekakuan pada serat PET membuatnya sangat tahan terhadap deformasi. Pada berat molekul yang lebih besar, PET dapat dibuat menjadi plastik berkekuatan tinggi yang dapat dibentuk dengan beberapa metode umum yang biasa dilakukan untuk thermoplastik lainnya. (Margolis, 2006)

2.5 Material Komposit

Material komposit adalah multifasa material yang terdiri dari dua jenis bahan atau lebih yang terikat secara fisika. Dengan penggabungan dua material atau lebih yang berbeda maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik yang lebih unggul dari material tersebut. Material komposit terdiri dari dua fasa yaitu matrix yang bersifat kontinu dan mengelilingi fasa lainnya. Dan juga fasa *reinforce* sebagai fasa diskontinu yang berfungsi sebagai pelindung dan penguat dari matrix.

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Komposit Partikel, yaitu komposit yang tersusun atau matriks kontinu dan penguat (reinforced) yang diskontinu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers.
2. Komposit Serat, yaitu komposit yang tersusun atas matriks kontinu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber
3. Komposit Laminat, yaitu komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi dari lamina-lamina dengan material yang berbeda di mana lapisan saling terikat.



Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu

1. *MMC: Metal Matriks Composite* (menggunakan *matriks* logam)
Metal Matriks Composite adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam.
2. *CMC: Ceramic Matriks Composite* (menggunakan *matriks* keramik) CMC merupakan material dua fasa dengan satu fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik.
3. *PMC: Polymer Matriks Composite* (menggunakan *matriks* polimer). Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan.

2.5.1 Komponen Komposit

a) Serat

Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filamen, masing-masing filament memiliki diameter 5 sampai 15 μm , sehingga dapat diproses lebih lanjut (Gay, 2015). Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Serat pendek, dengan panjang fraksi dalam milimeter atau beberapa centimeter. Contohnya *felts, mats*, dan serat pendek untuk *injection molding*.
2. Serat panjang, dipotong selama proses fabrikasi material komposit, biasanya berupa anyaman (*woven*).

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada



material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

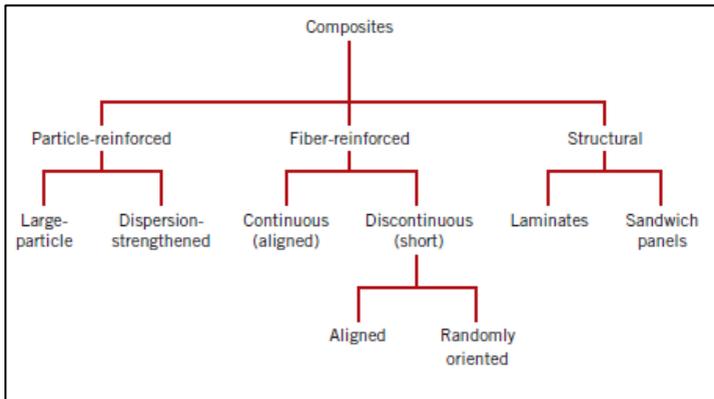
Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya.

b) Matriks

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik.

2.5.2 Komposit Partikulat

Komposit berdasarkan jenis fillernya terbagi menjadi tiga macam yaitu komposit partikulat, komposit serat, dan komposit struktural. Gambar 2.9 menunjukkan klasifikasi komposit.



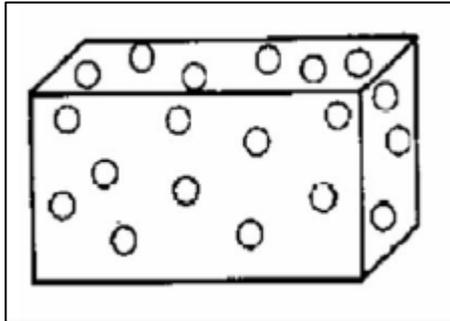
Gambar 2.9 Skema Klasifikasi Beberapa Tipe Komposit
(Callister, 2007)

Large particle dan *Dispersion-strengthened* adalah subklasifikasi dari *particle-reinforced composite*. Perbedaan dari kedua jenis komposit ini ada pada mekanisme penguatannya. Pada komposit *large particle* interaksi antara partikel dan matrix nya tidak dapat dilakukan pada level atomik ataupun molekular. *Particle-reinforced composite* biasanya lebih keras dan lebih kaku dari material matrix nya. Partikel penguat cenderung menahan gerakan pada fasa matrix di setiap partikel. Kenaikan *properties* mekanik dari komposit tergantung pada seberapa kuatnya ikatan antara *interface* antara *matrix* dan partikel nya.

Untuk *dispersion-strengthened composite interface* antara matrix dan partikel yang menyebabkan penguatan terjadi pada level atomik atau molekular. Mekanisme penguatannya mirip dengan *precipitation hardening* di mana matrix menerima sebagian besar tegangan yang diberikan lalu partikel-partikel kecil terdispersi menghalangi gerakan dislokasi. Maka dari itu,



kekerasan dan kekuatan tarik dari komposit tersebut akan naik. (Wessel, 2004)



Gambar 2.10 Sketsa Komposit Partikel (Wessel, 2004)

Gambar 2.10 menunjukkan skema komposit partikel. Komposit jenis partikel biasa digunakan pada bahan konstruksi karena memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki kekuatan yang seragam pada segala arah, dan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada material dengan tetap menjaga berat yang ringan.

2.6 Beton

Beton adalah sejenis batu buatan manusia yang terbuat dari pencampuran antara *gel materials*, agregat kasar-halus, dan air dengan rasio yang proporsional yang akan mengeras dan memadat. *Concrete* atau beton adalah salah satu material konstruksi yang sering digunakan untuk pembuatan struktur bangunan.

Beton ini sebenarnya adalah salah satu jenis dari komposit *large-particle*. Beton adalah material komposit yang terdiri dari partikel agregat yang terikat pada *solid body* dengan sebuah medium berupa sement. Jenis polimer yang paling banyak



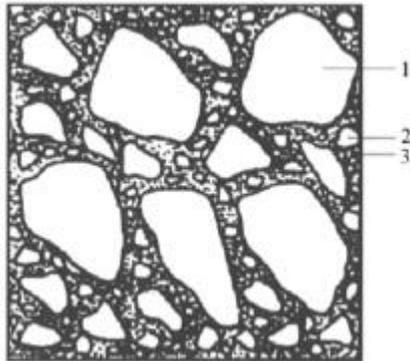
ditemukan adalah yang terbuat dari semen *Portland* dan *Asphaltic* di mana agregatnya berupa kerikil dan pasir. (Zhang, 2010)

2.6.1 Klasifikasi Beton

- 1) Berdasarkan jenis semen: beton semen, beton gipsum, beton aspal dan beton polimer.
- 2) Berdasarkan massa jenis: beton berat (massa jenis $> 2500\text{kg/m}^3$), beton biasa (massa jenis $1900\text{ kg/ m}^3\text{-}2500\text{ kg/m}^3$), beton ringan (massa jenis dari $600\text{ kg/m}^3\text{-}1900\text{ kg/m}^3$), dan beton super ringan (massa jenis $< 600\text{kg/m}^3$).
- 3) Berdasarkan aplikasinya, ada: beton struktural, beton hidrolik, beton hias, dan beton khusus (tahan panas, tahan asam, tahan alkali, dan beton anti radiasi dan sebagainya).
- 4) Berdasarkan metode konstruksi, ada: beton pompa, beton semprot, beton pemadatan bergetar, beton sentrifugal dan sebagainya.
- 5) Dengan campuran, ada: beton fly ash, beton silika, ledakan halus beton terak tungku, beton serat, dan lain-lain.

2.6.2 Beton Semen Portland

Bahan-bahan untuk beton ini adalah semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Partikel agregat bertindak sebagai material *filler* untuk mengurangi keseluruhan biaya produk beton karena harganya yang murah, karena harga semen yang relatif mahal. Untuk mendapatkan kekuatan dan *workability* optimum pada campuran beton, bahan harus ditambahkan dalam proporsi yang benar.



Gambar 2.11 Struktur Beton: (1) Agregat kasar, (2) Agregat halus, (3) Semen (Zhang, 2010)

Partikel pasir halus harus mengisi ruang kosong di antara kerikil partikel yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Biasanya agregat ini terdiri dari antara 60% dan 80% dari total volume. Jumlah dari campuran air dan semen harus cukup untuk melapisi semua pasir dan partikel kerikil, jika tidak, ikatan semen tidak akan lengkap. Selanjutnya, semua konstituen harus dicampur secara menyeluruh. Pengikatan yang sempurna antara semen dan partikel agregat bergantung pada penambahan jumlah air yang benar. Terlalu sedikit air menyebabkan ikatan tidak sempurna, dan jika terlalu banyak maka akan menghasilkan porositas yang berlebihan.

Beton semen portland adalah salah satu material konstruksi paling umum digunakan, terutama karena bisa dituang dan mengeras pada temperatur kamar, dan bahkan pada saat terendam di air. Namun, sebagai material struktural untuk bangunan, ada beberapa keterbatasan dan kerugian. Seperti kebanyakan keramik, beton semen portland relatif lemah dan sangat rapuh. Kekuatan tariknya kira-kira 10 sampai 15 kali lebih



kecil dari kekuatan tekannya. Selain itu, struktur beton besar dapat mengalami pemuaian thermal dan kontraksi dengan naik turunnya temperatur. Air juga dapat menembus ke pori-pori luar, yang bisa menyebabkan retak hebat dalam dingin cuaca sebagai konsekuensi siklus pembekuan-pencairan. Sebagian besar kekurangan ini dapat dihilangkan atau diperbaiki dengan penambahan zat aditif. (Zhang, 2010)

2.6.3 Reinforced Concrete

Kekuatan dari beton semen portland dapat ditingkatkan dengan penambahan penguat berupa batang baja, ataupun kabel digabungkan ke dalam struktur dari beton tersebut. *Reinforcement* menambahkan struktur penguat yang dapat menahan tegangan tarik, kompresi, maupun geser. Baja dapat bertindak sebagai bahan penguat yang karena koefisien pemuaian thermalnya yang hampir sama dengan beton. Selain itu, pada lingkungan semen, baja tidak cepat terkorosi dan ikatan perekat yang kuat akan terbentuk antara baja dan beton tersebut. Semen beton Portland juga dapat diperkuat dengan mencampur serat bahan dari bahan yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi seperti kaca, baja, nilon, dan *polyethylene*. (Zhang, 2010)

2.6.4 Karakteristik Beton

- 1) Cocok digunakan untuk: campuran yang memiliki plastisitas yang baik yang dapat dicetak menjadi komponen dan struktur dalam berbagai bentuk dan ukuran.
- 2) Murah: bahan baku berlimpah dan tersedia. Lebih dari 80% dari komposisi beton adalah pasir dan batu yang melimpah, konsumsi energi rendah, dan sesuai dengan prinsip ekonomi.



- 3) Kekuatan tinggi dan tahan lama: kekuatan beton biasa adalah 20 – 55 MPa dengan daya tahan yang baik.
- 4) Mudah disesuaikan: beton dengan kegunaan yang berbeda-beda dapat dibuat hanya dengan mengubah variasi jenis dan jumlah kuantitas material penyusunnya untuk memenuhi berbagai tuntutan proyek. Batang baja dapat ditambahkan ke beton untuk meningkatkan kekuatannya, dan jenis beton ini adalah salah satu jenis material komposit (beton bertulang) yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lengkung untuk memenuhi kebutuhan berbagai macam struktur.
- 5) Ramah lingkungan: beton dapat memanfaatkan limbah industri secara penuh, seperti terak, *fly ash* dan lainnya untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Kekurangan utamanya adalah bobot mati yang tinggi, kekuatan tarik yang rendah, rapuh, dan mudah retak.

2.6.5 Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang mempunyai berat jenis beton yang lebih kecil dari beton normal. Pada dasarnya, semua jenis beton ringan dibuat dengan rongga dalam beton dengan jumlah besar. Menurut SNI-03- 2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m³. Oleh karena itu, berdasarkan cara mendapatkan beton ringan menurut Tjokrodimuljo (1996), beton ringan dapat dibedakan menjadi 3 jenis dasar sebagai berikut :

1. Beton agregat ringan.
2. Beton busa.
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir).



Menurut Tjokrodimuljo (2003), beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis beton antara 1000-2000 kg/m³. Berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya beton dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m ³)	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1000	Non Struktur
Beton ringan	1000-2000	Struktur ringan
Beton normal	2300-2500	Struktur
Beton berat	> 3000	Perisai sinar X

Menurut SK SNI 03-3449-2002 beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan beton dengan berat jenis di bawah 1850 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan dengan tujuan struktural kuat tekan minimum 17,24 MPa dan maksimum 41,36 MPa. Sedangkan beton isolasi adalah beton ringan yang mempunyai berat isi kering oven maksimum 1440 kg/m³. Dengan kuat tekan maksimum 17,24 MPa dan kuat tekan minimumnya adalah 6,68 MPa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 2.2**



Tabel 2.2 Jenis-Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Jenis (kg/m^3)	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau batu terbang
Minimum	17,24	1400	
Maksimum	41,36	1850	
Struktural ringan			Agregat mangan alami seperti scoria atau batu apung
Minimum	6,89	800	
Maksimum	17,24	1400	
Struktur sangat ringan, sebagai isolasi, maksimum		800	Pendit atau vermikulit

Menurut Dobrowolski (1998), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah 1900 kg/m^3 . Menurut Neville dan Brooks (1987), beton ringan mempunyai berat jenis di bawah 1800 kg/m^3 . Jenis-jenis beton ringan menurut Dobrowolski (1998) dan Neville dan Brooks (1987) dapat dikelompokkan sesuai **Tabel 2.3** di bawah ini.



Tabel 2.3 Jenis-Jenis Beton Ringan Menurut Dobrowolski (1998) dan Neville and Brooks (1987)

Sumber	Jenis Beton Ringan	Berat Jenis Beton (kg/m^3)	Kuat Tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton dengan berat jenis rendah	240-800	0,35-6,9
	Beton ringan dengan kekuatan menengah	800-1440	6,9-17,3
	Beton ringan struktural	1440-1900	> 17,3
Neville and Brooks (1987)	Beton ringan penahan panas	< 800	0,7-7
	Beton ringan untuk pemasangan batu	500-800	7,0-14,0
	Beton ringan struktur	1400-1800	> 17

2.7 *Polymer Concrete (PC)*

Beton polimer (*polymer concrete*) adalah material komposit di mana agregat disatukan bersama dalam matriks polimer. Maka dari itu, komposit jenis ini tidak mengandung fasa semen. Pada PC resin thermoset biasanya digunakan karena stabilitas thermal yang baik. Beberapa polimer thermoplastik juga digunakan. Resin epoxy paling sering digunakan pada komposit jenis ini karena kekuatan adhesi yang tinggi, penyusutan yang rendah, ketahanan *fatigue* dan *creep* yang baik, dan penyerapan air yang rendah.

Agregat yang digunakan untuk pembuatan beton polimer bisa berupa *limestone*, granit, quartz, silika dan lain-lain. Agregat



harus kering dan bebas dari debu karena dapat mengakibatkan penurunan kekuatan adhesi dari komposit.

Properties beton polimer sangat bergantung pada waktu dan temperatur di mana beton tersebut terekspos, serta komposisi dan jenis *filler* yang digunakan dalam pembuatan komposit. Kekuatan kompresi dari PC biasanya sekitar dua atau tiga kali lebih kuat dibandingkan dengan beton yang menggunakan semen Portland. Hal ini membuktikan bahwa material polimer cocok digunakan untuk aplikasi dari beton *precast*.

Beton polimer menggunakan *binder Polyethylene Terephthalate (PET)* dan *polypropylene (PP)* belakangan ini telah mendapat ketertarikan yang tinggi dalam penggunaan beton polimer dikarenakan isu lingkungan dan ekonomi. Transformasi kimia dari PET dilakukan melalui degradasi glikol dengan beberapa glikol yang berbeda. Kemudian monomer yang dihasilkan digunakan untuk pembuatan beton polimer. Kekuatan kompresi dari beton polimer yang diproduksi menggunakan PET hasil daur ulang bervariasi antara 15-28 MPa. Kekuatan tarik bahkan melebihi dari yang didapatkan pada beton yang menggunakan semen.

Kekuatan dari beton polimer naik dengan penambahan komposisi polimer. Namun beton polimer menunjukkan ketahanan yang buruk terhadap asam. Lebih lanjut, *durability* yang baik dan juga ketahanan abrasi yang baik menjadikan beton polimer sebagai produk yang berkualitas. Beton polimer juga memiliki sifat permeabilitas yang rendah terhadap cairan dan gas (tidak seperti beton semen Portland yang memiliki porositas yang tinggi) serta ketahanan korosi yang baik yang memungkinkan beton polimer digunakan sebagai pembuangan yang baik untuk limbah asam dan beracun untuk jangka waktu yang lama.



Beton polimer juga sering digunakan sebagai pengganti dari material besi cor dan baja untuk pembuat peralatan mesin biasanya pada *machine tool bed*. Keuntungan dari penggunaan beton polimer untuk aplikasi ini adalah manufaktur yang mudah, rasio *strength-to-weight* yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas thermal yang rendah, dan yang paling penting adalah peredam vibrasi yang baik. (Frigione, 2010)

2.8 *Polymer-Modified Concrete (PMC)*

PMC, atau yang biasa dikenal dengan *Latex-Concrete Modified (LMC)*, dikembangkan dengan mencampur dispesi polimer (latex) dengan campuran beton semen Portland dengan tujuan untuk meningkatkan karakteristik dari beton. Penggunaan latex pada PMC sudah dilakukan sejak tahun 1950-an. Beton semen standard adalah material yang getas. Dengan penambahan polimer pada campuran akan meningkatkan fleksibilitas dari beton.

Styrene-butadiene (SBR) latex telah banyak digunakan untuk lapisan atas dari lantai dan juga jembatan, walaupun membutuhkan ketebalan minimum sebesar 30 mm. Keunggulannya adalah pada kekuatan ikatan yang baik pada beton dan permeabilitas yang rendah. Latex akrilik telah banyak digunakan untuk produksi mortar yang dapat disemprotkan pada *finishing* pada bangunan.

Curing pada kondisi basah, seperti *water immersion* ataupun *moist curing* dapat merusak beton jenis ini. PMC membutuhkan metode *curing* yang berbeda. *Properties* terbaik didapatkan dengan kombinasi metode kering dan basah. (Frigione, 2010)



2.9 *Paving Block*

Bata Beton (*Paving Block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu. *Paving block* sangat sering dijumpai di wilayah jalanan, pelataran parkir, ataupun halaman rumah di seluruh dunia.



Gambar 2.12 Paving Block menggunakan *Portland cement*

Paving Block diklasifikasikan ke dalam empat jenis sesuai dengan penggunaannya:

- Bata beton mutu A: digunakan untuk jalan
- Bata beton mutu B: digunakan untuk pelataran parkir
- Bata beton mutu C: digunakan untuk pejalan kaki
- Bata beton mutu D: digunakan untuk taman



Tabel 2.4 Tabel Klasifikasi Mutu *Paving Block*

Mutu	Kuat Tekan (Mpa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air Rata-rata maks.
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	(%)
A	40	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,13	0,149	6
C	15	12,5	0,16	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

2.10 Penelitian Sebelumnya

Jumlah plastik yang setiap hari nya terus bertambah dapat menjadi masalah kesehatan dan sosial yang besar. Tempat-tempat pembuangan akhir di kota-kota besar mulai kelebihan kapasitas dan tidak dapat menampung jumlah plastik lagi. Pendaaran ulang plastik juga dinilai belum efektif karena jumlah plastik yang didaur ulang masih jauh lebih sedikit dari plastik yang dibuang setiap harinya.

Polyethylene Terephthalate (PET) dan *Polyethylene* digunakan dalam pembuatan botol minuman dan makanan. Namun dalam hal membuat sampah dalam jumlah yang besar, pelaku utamanya adalah kantong kresek yang terbuat dari *Polyethylene* untuk pembungkus makanan. Plastik jenis inilah kontributor utama permasalahan plastik dunia dan *biodegradability* nya sangat buruk.

Ilmuwan di dunia telah mengembangkan solusi dan metode pengolahan plasti dengan cara yang efektif, efisien,



dan biaya yang murah. Para ilmuwan telah menemukan tipe baru dari *engineering* yang menggabungkan *sustainable engineering* dan *green engineering*. Tujuannya adalah untuk mengurangi dampak lingkungan yang buruk dari plastik dan di samping itu juga memaksimalkan keuntungan yang memberikan dampak positif terhadap ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Di Ghana, plastik jenis ini diolah menjadi penguat untuk campuran aspal. Jalan yang dibuat dengan aspal jenis ini terbukti dapat meningkatkan performa campuran bitumen. Penambahan thermoplastik pada campuran bitumen dapat meningkatkan perilaku viskoelastik dan *rheological properties* dari aspal. Penambahan plastik juga meningkatkan titik pelunakan, daya tahan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap deformasi dari aspal. Di samping kenaikan performa dari aspal, pengolahan plastik dengan metode ini memiliki keuntungan karena harganya yang murah, dan ketersediaan plastik yang sangat banyak. (Appiah, *Case Studies in Construction Materials* 6, 2017)

Peneliti dari *Materials Engineering Department* Universitas Basrah, Iraq memanfaatkan plastik sebagai campuran untuk beton. Melalui penelitian tersebut mereka menemukan bahwa dengan penambahan plastik dapat meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan terhadap bahan kimia, *drying shrinkage* dan pemuluran dalam jangka waktu yang panjang. Massa jenis dan kekuatan kompresi dari beton juga mengalami kenaikan sampai pada fraksi massa 50% dari massa pasir. (Jassim, 2017)



Pemanfaatan penambahan plastik juga tidak hanya dapat dimanfaatkan menjadi material konstruksi dan jalanan seperti aspal dan beton. Ilmuwan dari *Central Building Research Institute* di India memanfaatkan plastik untuk estetika pada pembuatan ubin. Mereka telah mengembangkan ubin jenis baru bernama *Polymer Modified Cementitious Tiles* atau *Polycem Tiles*. Teknik kompaksi dengan tekanan yang tinggi digunakan dalam pembuatan ubin jenis ini untuk mendapatkan ubin dengan kepadatan yang tinggi. Hasilnya adalah dihasilkan ubin jenis baru yang memiliki keunggulan dengan naiknya *physico-mechanical properties* dari ubin tersebut. Melalui studi DTA dan SEM diperoleh informasi yang dapat menjelaskan hal tersebut yaitu karenan interaksi dari polimer dengan Ca^{2+} yang terbentuk ketika proses hidrasi semen dan bersatu untuk membentuk lapisan kontinu yang meningkatkan *physico-mechanical properties* dari ubin. (Asthana, Development of polymer modified cementitious (polycem), 2004)

Sebuah penelitian yang dipublikasikan di *Journal of Traffic and Transportation Engineering* memberikan informasi juga bahwa plastik dapat dimanfaatkan untuk pembuatan beton *paving block* untuk jalanan. Mereka membandingkan performa dari *paving block* biasa dengan *paving block* yang ditambahkan karet. Riset mereka menunjukkan kekuatan kompresi yang lebih kecil dibandingkan *paving block* biasa. Namun *flexural strength* dari *paving block* yang ditambahkan polimer berupa karet naik sampai komposisi penambahan karet sebesar 15%, lalu



mulai mengalami penurunan ketika komposisi karetnya melebihi 15%. Ketahanan *impact* dan keuletan juga naik dengan penggantian pasir dengan karet sampai dengan komposisi 25% dari pasir. Ketangguhan dijadikan parameter untuk menjelaskan respon terhadap patahan pada beban yang tiba-tiba dan dengan metode ini nilai ketangguhan dari *paving block* naik. (Appiah, Case Studies in Construction Materials 6, 2017)

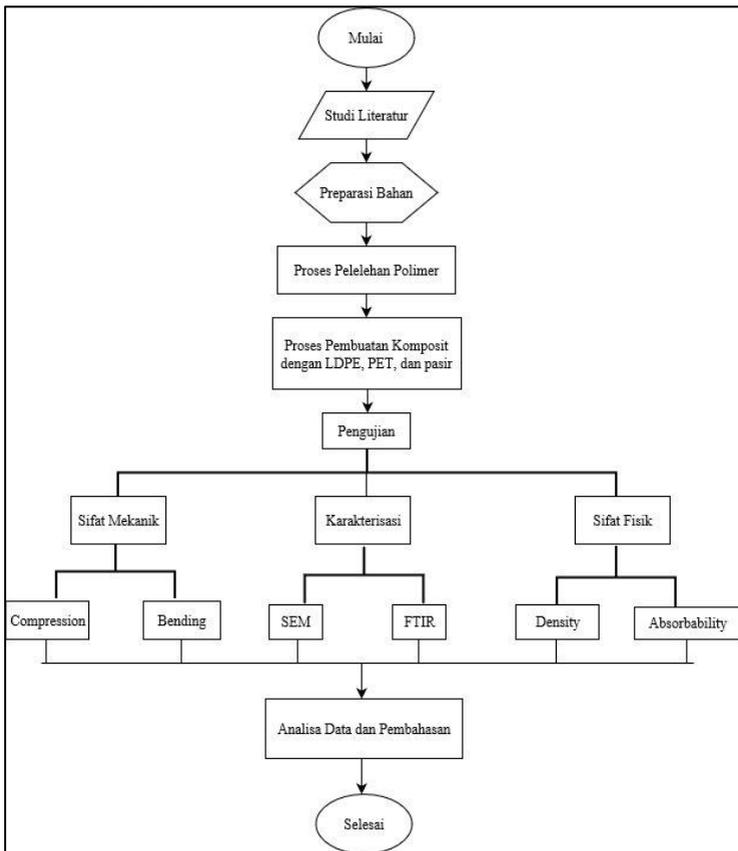
Melalui referensi penelitian-penelitian sebelumnya, riset ini diharapkan dapat memberikan solusi untuk peningkatan performa dari material bangunan dengan pemanfaatan sampah plastik sebagai penguat. Diharapkan melalui riset ini didapatkan solusi yang mudah, efektif, dan efisien untuk pengolahan limbah plastik yang ramah lingkungan dan mampu mengurangi plastik dalam jumlah yang besar. Penelitian ini juga dapat dijadikan referensi yang baik untuk perkembangan industri pengolahan limbah plastik yang dapat memberikan dampak sosial dan ekonomi yang positif.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan yang digunakan, yaitu

1. Sampah plastik *Low-density Polyethylene* (LDPE)
2. Sampah plastik *Polyethylene Terephtalate* (PET)
3. Pasir

3.2.2 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa peralatan yang digunakan, yaitu :

1. Kompor

Gambar 3.2 adalah kompor gas portable. Alat ini digunakan untuk memanaskan potongan-potongan kecil plastik agar menjadi cair.



Gambar 3.2 Kompor Gas Portable



2. Sodet

Alat ini digunakan untuk mengaduk campuran plastik cair dan pasir sehingga merata.

3. *Blowtorch*

Gambar 3.3 menunjukkan blowtorch yang digunakan untuk memanaskan plastik dari atas sehingga proses pelelehan plastik berjalan lebih cepat.



Gambar 3.3 *Blowtorch/Gas Torch*

4. Wajan

Gambar 3.4 menunjukkan wajan yang digunakan sebagai wadah untuk mencampur plastik cair dengan pasir.



Gambar 3.4 Wajan

5. Cetakan

Alat ini digunakan untuk membentuk spesimen uji untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.

6. Timbangan digital

Gambar 3.5 adalah timbangan digital yang digunakan untuk mengukur berat dari bahan-bahan yang digunakan



Gambar 3.5 Timbangan Digital



7. Mesin pencacah plastik

Gambar 3.6 adalah mesin pencacah plastik yang digunakan untuk mencacah plastik menjadi ukuran yang kecil sehingga mudah dilelehkan dan pengadukan lebih efisien



Gambar 3.6 Mesin Pencacah Plastik

8. Alat Uji SEM

Gambar 3.7 adalah mesin SEM untuk menganalisa morfologi dan juga ukuran partikel dari hasil penelitian.



Gambar 3.7 Mesin *Scanning Electron Microscope*



9. Alat uji FTIR

Gambar 3.8 adalah mesin FTIR yang digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi hasil penelitian.



Gambar 3.8 Mesin FTIR

10. Alat Uji *Bending*

Gambar 3.9 adalah mesin uji bending untuk mengukur kekuatan lengkung dari material komposit.



Gambar 3.9 Mesin Uji Bending

11. Oven

Gambar 3.10 adalah oven yang digunakan untuk mengeringkan spesimen uji *absorbability* yang telah direndam air selama 24 jam.



Gambar 3.10 Oven

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbedaan jenis *filler* dan matrix (LDPE dan pasir) dan perbandingan fraksi berat masing-masing komposisi yang dijelaskan pada Tabel 3.1.



Tabel 3.1 Variabel Penelitian Komposit

No.	Komposisi (% wt)		
	LDPE	PET	Pasir
1	10	20	70
2	20	15	65
3	30	10	60
4	40	5	55
5	45	-	55
6	-	45	55
7	100	-	-
8	-	100	-

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu disiapkan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan.

3.4.1.1 Pengolahan Sampah Plastik PET dan LDPE

1. Sampah plastik yang PET dan LDPE dicuci sampah bersih untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaannya.
2. Sampah plastik PET dan LDPE dijemur di bawah sinar matahari sampai kering untuk menghilangkan kandungan air.
3. Melakukan *mechanical crushing* dengan mesin pencacah plastik untuk mendapatkan ukuran yang kecil sehingga mudah untuk dilelehkan.



3.4.1.2 Pembuatan Komposit

1. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menimbang massa dari plastik (PET dan LDPE) sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
2. Setelah itu menimbang massa dari pasir sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
3. Plastik yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam wajan untuk dipanaskan menggunakan panas dari kompor sampai menjadi fasa *liquid*.
4. *Blowtorch* digunakan untuk memanaskan plastik melalui bagian atas dari wajan agar proses pelelehan berjalan lebih cepat dan efisien. Proses pelelehan polimer membutuhkan waktu kurang lebih 15 menit sampai meleleh secara merata.
5. Setelah semua bagian dari plastik meleleh dan mencair, pasir dimasukkan sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
6. Pengadukan campuran plastik dan pasir menggunakan spatula sampai seluruh campuran tercampur secara merata.
7. Setelah semua campuran tercampur secara merata, campuran plastik dan pasir yang telah menjadi komposit dituang ke dalam cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.

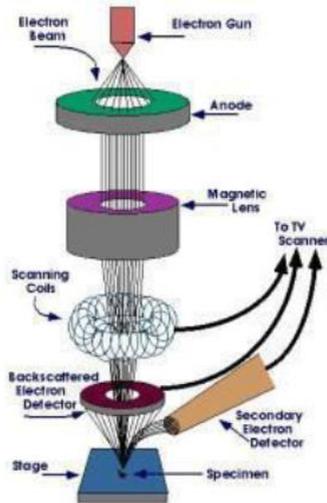


8. Komposit yang telah dicetak kemudian didinginkan hingga semua bagian menjadi solid.
9. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.
10. Melakukan pembuatan komposit untuk 8 komposisi.

3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian SEM

Scanning Electron Microscope adalah jenis mikroskop elektron yang memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan sehingga dapat menampilkan gambar morfologi sampel. Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada di bagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Skema prinsip kerja SEM ditunjukkan pada **Gambar 3.11**



Gambar 3.11 Prinsip Kerja SEM

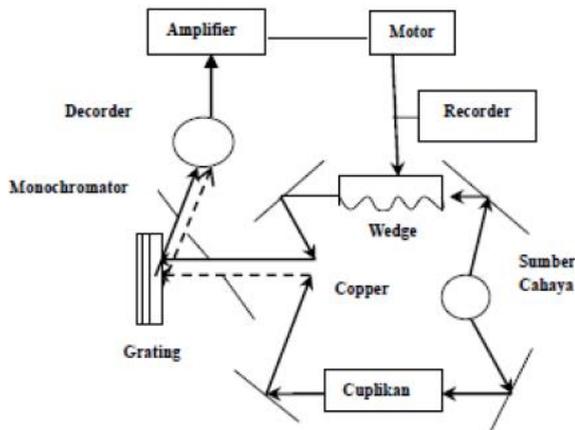
Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E986. Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. Sampel yang digunakan berupa lembaran yang dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20). Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM.

3.4.2.2 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan serta untuk



mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Skema dari mesin FTIR dapat dilihat pada Gambar 3.12 Adapun cara kerja FTIR seperti berikut ini: Mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh *rekorder*. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.



Gambar 3.12 Skema Uji FTIR

Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan



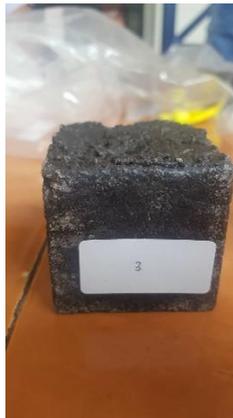
pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.

3.4.2.3 Pengujian Massa Jenis

Pengujian dilakukan dengan perhitungan massa spesimen dalam udara dan air masing-masing spesimen komposit menggunakan standard ASTM D792.

3.4.2.4 Pengujian Kompresi

Pengujian kompresi dilakukan untuk mengetahui kekuatan kompresi dari material komposit. Bahan bangunan memiliki kekuatan kompresi minimal untuk menahan tegangan yang diterima. Dengan mengetahui kekuatan kompresi material komposit yang telah dibuat, dapat diketahui aplikasi yang cocok untuk setiap material komposit yang telah dibuat. Gambar 3.13 adalah spesimen uji kompresi dengan ukuran 5x5x5 cm

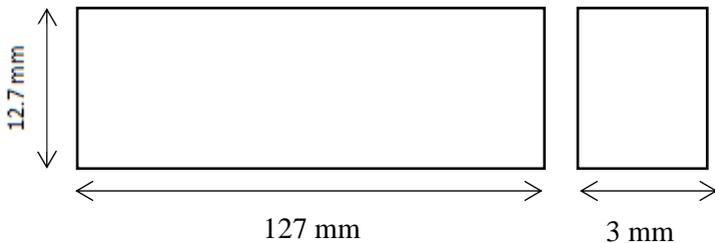


Gambar 3.13 Spesimen Uji Kompresi



3.4.2.5 Pengujian *Bending*

Pengujian kelenturan dilakukan untuk mendapatkan informasi kekuatan material ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan dilakukan dengan metode three point bend, dengan cara spesimen diletakan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan di tengah spesimen. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji bending di Universitas Airlangga Surabaya. Prosedur pengujian menurut standar ASTM D790. Dimensi spesimen yang diuji sesuai standart tersebut ialah sebesar 127x12.7x3 mm seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Dimensi Spesimen Uji Bending

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

Keterangan :

σ_f = Kekuatan Lentur (Kg/cm²)

L = Support span (cm)



P = Beban patah (Kg)
 b = lebar spesimen (cm)
 d = tebal spesimen (cm)

3.4.2.6 Pengujian *Absorbability*

Pengujian Angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel pokok dibandingkan dengan pada saat kondisi kering, ketika agregat tersebut dianggap telah cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap penuh. Gambar 3.15 adalah spesimen uji *absorbability*. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering ke dalam air selama (24+4) jam. Agregat yang diambil dari bawah muka air tanah akan memiliki nilai penyerapan yang lebih besar bila tidak dibiarkan mengering. Sebaliknya, beberapa jenis agregat mungkin saja mengandung kadar air yang lebih kecil bila dibandingkan dengan yang pada kondisi terendam selama 15 jam.



Gambar 3.15 Spesimen Uji *Absorbability*



Untuk agregat yang telah kontak dengan air dan terdapat air bebas pada permukaan partikelnya, persentase air bebasnya dapat ditentukan dengan mengurangi penyerapan dari kadar air total.

3.5 Rancangan Penelitian

Untuk pelaksanaan penelitian, Tabel 3.1 menunjukkan rancangan penelitian pada penelitian ini.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

No.	Binder (% wt)		Pasir (% wt)	Pengujian					
	LDPE	PET		SEM	FTIR	Massa Jenis	Serap Air	Tekan	Bending
1	10	20	70	v	v	v	v	v	v
2	20	15	65	v	v	v	v	v	v
3	30	10	60	v	v	v	v	v	v
4	40	5	55	v	v	v	v	v	v
5	45	-	55	v	v	v	v	v	v
6	-	45	55	v	v	v	v	v	v
7	100	-	-	v	v	v	v	v	v
8	-	100	-	v	v	v	v	v	v



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kompresi

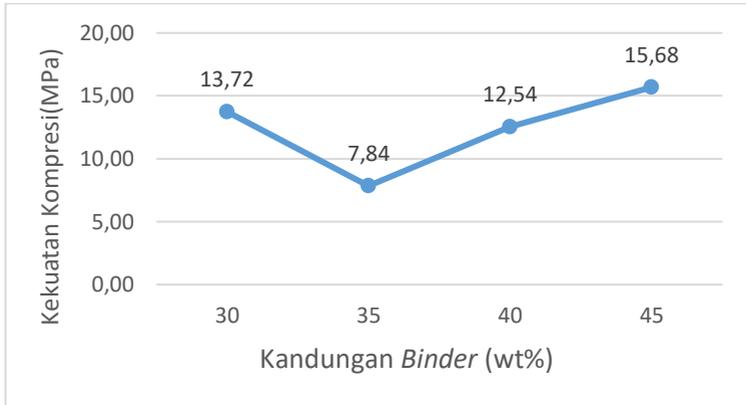
Pengujian kompresi dilakukan untuk mengetahui kekuatan kompresi dari komposit yang terbuat dari binder thermoplastik LDPE dan PET dan agregat pasir. Dengan mengetahui kekuatan kompresi dari material komposit, maka dapat dijadikan pertimbangan komposit yang dibuat untuk dijadikan bahan bangunan seperti ubin, *paving block*, dinding, beton, dan lain-lain.

Uji kompresi di lakukan di Laboratorium Uji Beton Jurusan D3 Teknik Sipil Fakultas Vokasi Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dari hasil uji kompresi yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil Uji Kompresi

No.	Binder (%wt)	Agregat Pasir (%wt)	Kekuatan Kompresi (Mpa)
1	30	70	13,72
2	35	65	7,84
3	40	60	12,54
4	45	55	15,68

Tabel tersebut menunjukkan nilai kekuatan kompresi dari material komposit dengan binder thermoplastik dan agregat pasir. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa adanya binder thermoplastik dalam komposit, mempengaruhi nilai kekuatan kompresi.



Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekuatan Kompresi Komposit

Gambar 4.1 menunjukkan bukti bahwa dengan penambahan *binder* berupa thermoplastik dapat meningkatkan kekuatan kompresi dari komposit untuk aplikasi material bangunan. Kekuatan kompresi paling tinggi didapatkan dengan komposisi 45%wt *binder* thermoplastik dan 55%wt pasir dengan kekuatan kompresi sebesar 15,68 MPa. Sedangkan kekuatan kompresi paling rendah didapatkan pada komposisi komposit dengan komposisi 35%wt *binder* dan 65%wt pasir dengan kekuatan kompresi sebesar 7,84 MPa.

Kenaikan kekuatan kompresi pada material komposit ini disebabkan oleh kekuatan ikatan antar *interface* polimer dan agregat (pasir) yang meningkat dengan adanya penambahan *binder* thermoplastik (Asthana, Development of polymer modified cementitious (polycem), 2004). Karakteristik polimer yang mengisi pori juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari material komposit (Frigione, 2010).



Tabel 4.2 Hasil Uji Kompresi Berdasarkan Jenis *Binder*

No.	<i>Binder</i> (% wt)		Agregat Pasir (% wt)	Kekuatan Kompresi (Mpa)
	LDPE	PET		
1	10	20	70	13,72
2	20	15	65	7,84
3	30	10	60	12,54
4	40	5	55	15,68
5	45	-	55	14,11
6	-	45	55	15,68
7	100	-	-	10,58
8	-	100	-	5,10

Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian kompresi dari material komposit berdasarkan perbedaan jenis *binder* nya. Spesimen komposit yang memberikan kekuatan kompresi terbesar yaitu spesimen nomor 4 dan 6. Spesimen ini memiliki komposisi binder termoplastik berupa 40%wt LDPE dan 5%wt PET juga agregat pasir sebesar 55%wt. Sedangkan pada spesimen nomor 6 komposisi binder termoplastik berupa 45%wt PET dan 55%wt pasir. Spesimen dengan kekuatan kompresi terendah adalah nomor 8 dengan komposisi termoplastik PET sebesar 100%wt.

Dari pengujian kompresi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan hampir semua spesimen memenuhi standar SNI untuk kekuatan kompresi untuk aplikasi paving block. Dalam hal ini adalah paving block kategori C dan D yang memiliki standar kekuatan kompresi minimal sebesar 12,5 MPa untuk kategori C dan 8,5 MPa untuk kategori D. Paving block kategori C adalah paving block yang digunakan untuk aplikasi jalanan untuk pejalan kaki. Sedangkan paving block kategori D digunakan untuk hiasan pertamanan. Spesimen nomor 1,3,4,5,6 memenuhi standar



kekuatan kompresi minimum paving block kategori C. Sedangkan spesimen nomor 7 memenuhi standar kekuatan kompresi minimum paving block kategori D. Spesimen nomor 8 tidak dapat digunakan untuk aplikasi paving block karena memiliki kekuatan kompresi yang di bawah standard minimum paving block SNI yaitu sebesar 8,5 MPa.

Material komposit yang telah diproduksi ini juga telah memenuhi kriteria untuk beton ringan dengan massa jenis sebesar 1000-2000 kg/m³. Dan material komposit yang telah diproduksi ini telah memenuhi standar kekuatan kompresi untuk klasifikasi beton struktural ringan dengan kekuatan kompresi antara 6,89-17,24 MPa. (Tjokrodimuljo, 2003)

4.2 Uji Bending

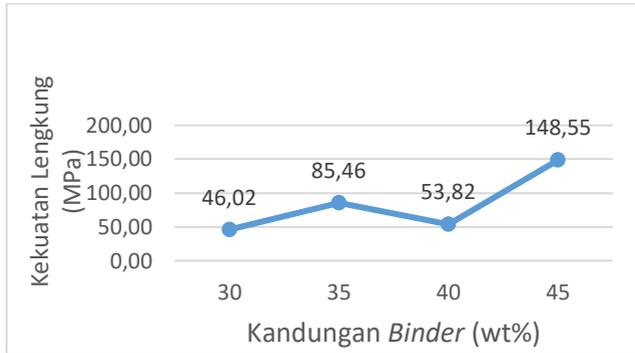
Kekuatan *bending* dari material komposit juga dibutuhkan untuk menentukan aplikasi yang cocok untuk material bangunan. Serta untuk mengetahui pengaruh dari penambahan *binder* thermoplastik terhadap kekuatan bending dari komposit. Kekuatan bending dari material komposit didapatkan dengan pengujian bending. Uji bending komposit dilakukan di Laboratorium Farmasi Universitas Airlangga Surabaya. Dari hasil pengujian bending didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3 :



Tabel 4.3 Hasil Uji *Bending*

No.	<i>Binder</i> (% wt)	Agregat Pasir (% wt)	Kekuatan Lengkung (MPa)
1	30	70	46,02
2	35	65	85,46
3	40	60	53,82
4	45	55	148,55

Tabel tersebut menunjukkan nilai kekuatan bending dari material komposit dengan *binder* termoplastik dan agregat pasir. Dari hasil pengujian dengan adanya penambahan binder termoplastik dalam komposit mempengaruhi nilai kekuatan *bending* dari komposit tergantung dari banyaknya komposisi *binder* termoplastik pada komposit. Kekuatan bending paling tinggi didapatkan dengan komposisi 45% wt *binder* termoplastik dan 55% wt pasir dengan kekuatan kompresi sebesar 148,55 MPa. Sedangkan nilai kekuatan bending paling kecil didapatkan dengan komposisi *binder* termoplastik sebesar 30% wt dan 70% wt pasir dengan nilai 46,02 MPa.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Kekuatan *Bending* Komposit

Gambar 4.2 menunjukkan nilai kekuatan *bending* material komposit dalam bentuk grafik. Gambar tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan *binder* termoplastik material komposit cenderung mengalami peningkatan pada kekuatan *bending* nya. Kenaikan kekuatan *bending* pada material komposit ini disebabkan oleh penambahan polimer pada komposit dapat meningkatkan kekuatan *bending* karena polimer dapat menjembatani *microcrack* dan mengurangi perambatannya pada saat pembebanan dilakukan (Dionys, van Gemert, & Czarnecki, 2005).



Tabel 4.4 Hasil Uji *Bending* Berdasarkan Jenis *Binder*

No.	<i>Binder</i> (% wt)		Agregat Pasir (% wt)	Kekuatan Lengkung (MPa)
	LDPE	PET		
1	10	20	70	46,02
2	20	15	65	85,46
3	30	10	60	53,82
4	40	5	55	148,55
5	45	-	55	100,29
6	-	45	55	9,94
7	100	-	-	95,63
8	-	100	-	48,75

Tabel 4.4 menunjukkan nilai kekuatan bending dari material komposit berdasarkan jenis *binder*. Nilai kekuatan bending terbesar didapatkan dengan komposisi 40%wt LDPE, 5%wt PET, dan 55%wt pasir dengan nilai kekuatan bending sebesar 148,55 MPa. Sedangkan yang terendah adalah pada komposisi 45%wt PET dan 55%wt pasir yaitu sebesar 9,94 MPa. Hal ini dikarenakan karakteristik alami dari thermoplastik LDPE yang fleksibel sehingga dapat meningkatkan kekuatan *bending* dari komposit. Thermoplastik PET memiliki karakteristik yang kaku sehingga ketika dicampurkan dengan agregat pasir tidak akan meningkatkan kekuatan *bending* dari komposit.

Bahan bangunan seperti beton, ubin, dan dinding biasanya memiliki karakteristik yang kaku sehingga dapat memiliki ketangguhan yang kurang baik. Dengan kenaikan *flexural strength* akan menguntungkan untuk aplikasi dari material bangunan karena akan menurunkan kekakuan yang akan menyebabkan ketangguhan yang lebih baik dari bahan bangunan.



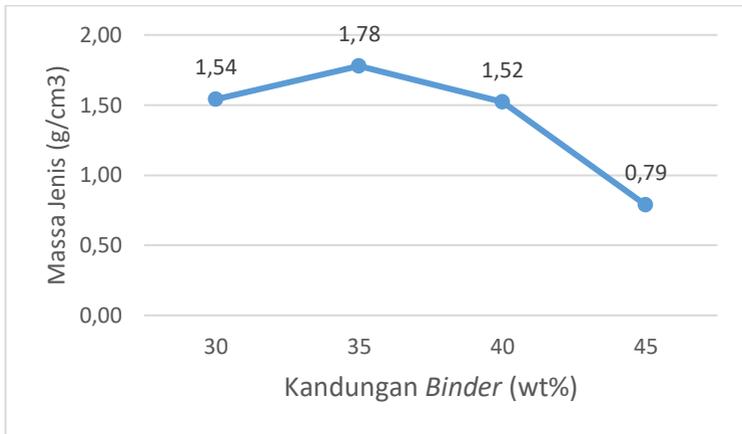
4.3 Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa dan volume dari masing-masing spesimen untuk diketahui massa jenisnya. Pengujian densitas dilakukan dengan alat timbangan digital pada Laboratorium Korosi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Hasil uji densitas ditunjukkan pada Tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Hasil Uji Densitas

No.	<i>Binder</i> (%wt)	Agregat Pasir (%wt)	Massa Jenis (g/cm ³)
1	30	70	1,54
2	35	65	1,78
3	40	60	1,52
5	45	55	0,79

Tabel tersebut menunjukkan nilai massa jenis dari material komposit dengan *binder* thermoplastik dan agregat berupa pasir. Hasil pengujian menunjukkan dengan penambahan *binder* thermoplastik dapat mempengaruhi nilai massa jenis komposit. Massa jenis paling tinggi ditemukan pada spesimen nomor 2 yang terbuat dari 35% wt *binder* thermoplastik dan 65% wt pasir dengan nilai 1,78 g/cm³. Sedangkan yang paling kecil ditemukan pada spesimen nomor 4 yang terbuat dari 45% wt *binder* thermoplastik dan 55% pasir dengan massa jenis sebesar 0,79 g/cm³.



Gambar 4.3 Grafik Nilai Massa Jenis Komposit

Gambar 4.3 menunjukkan nilai massa jenis komposit dengan adanya penambahan *binder* termoplastik dalam grafik. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan *binder* termoplastik cenderung menurunkan nilai massa jenis dari material komposit untuk aplikasi material bangunan.

Massa jenis akan turun seiring dengan bertambahnya komposisi polimer. Hal ini dikarenakan massa jenis yang rendah dari polimer. Polimer juga dapat menjebak udara yang ada di dalam campuran (Jafari, 2017).



Tabel 4.6 Hasil Uji Densitas Berdasarkan Jenis *Binder*

No.	<i>Binder</i> (% wt)		Agregat Pasir (% wt)	Massa Jenis (g/cm ³)
	LDPE	PET		
1	10	20	70	1,54
2	20	15	65	1,78
3	30	10	60	1,52
4	40	5	55	0,33
5	45	-	55	0,79
6	-	45	55	1,68
7	100	-	-	1,02
8	-	100	-	1,29

Massa jenis paling tinggi ditemukan pada spesimen nomor 2 yang terbuat dari 20% LDPE, 15%PET, dan 65% pasir dengan nilai 1,78 g/cm³. Sedangkan yang paling kecil ditemukan pada spesimen nomor 4 yang terbuat dari 40% LDPE, 5% PET, dan 55% pasir. Dari pengujian densitas juga ditemukan massa jenis dari LDPE yaitu 1,02 g/cm³ dan juga PET murni yaitu sebesar 1,29 g/cm³. Dari pengujian densitas juga ditemukan massa jenis dari LDPE yaitu 1,02 g/cm³ dan juga PET murni yaitu sebesar 1,29 g/cm³.

Material komposit yang telah diproduksi ini memenuhi kriteria massa jenis untuk aplikasi beton ringan dengan massa jenis antara 1000-2000 kg/m³. Namun untuk spesimen nomor 4 dan 5 tidak memenuhi kriteria massa jenis karena memiliki massa yang lebih kecil dari standard yang telah ditentukan.

4.4 Uji Penyerapan Air

Uji penyerapan air diperlukan untuk mengetahui kemampuan material komposit dalam menyerap air. Pengujian ini



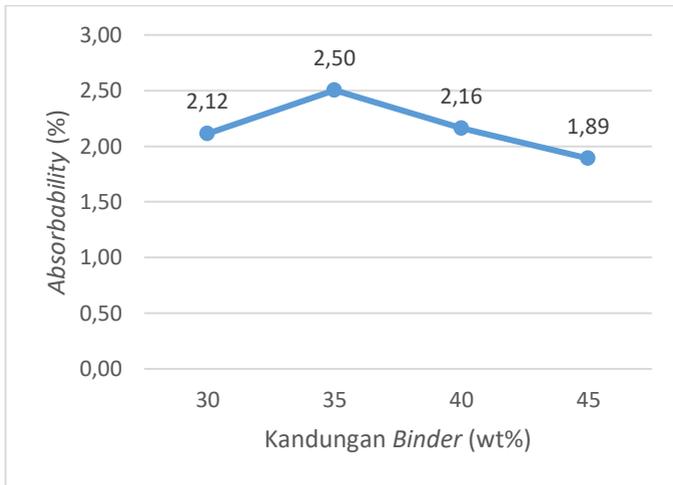
dilakukan dengan membandingkan selisih antara berat basah dan kering dari spesimen dengan berat kering dari spesimen.

Pengujian ini dilakukan menggunakan timbangan digital pada Laboratorium Korosi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dari hasil pengujian penyerapan air yang dilakukan, didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Hasil Uji Penyerapan Air

No.	Binder (% wt)	Agregat Pasir (% wt)	<i>Absorbability</i> (%)
1	30	70	2,12
2	35	65	2,50
3	40	60	2,16
4	45	55	1,89

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan nilai *absorbability* dari material komposit dalam bentuk persentase (%). Dari hasil pengujian didapatkan dengan penambahan *binder* berupa thermoplastik dapat mempengaruhi nilai *absorbability* dari komposit. Nilai *absorbability* paling besar didapatkan pada spesimen 5 dengan komposisi 45% binder thermoplastik dan 55% pasir dengan nilai *absorbability* 4,27%. Sedangkan nilai *absorbability* paling kecil didapatkan pada spesimen 8 dengan komposisi 100% binder thermoplastik dengan nilai *absorbability* sebesar 0,53%.



Gambar 4.4 Grafik Nilai *Absorbability* Komposit

Gambar 4.4 menunjukkan nilai *absorbability* dari komposit dalam bentuk grafik. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan *binder* yang terbuat dari thermoplastik dapat menurunkan nilai *absorbability*.

Penurunan nilai *absorbability* diakibatkan oleh karakteristik polimer yang mengisi pori antar partikel agregat (pasir) (Asthana, Development of polymer modified cementitious (polycem), 2004). Selain itu sifat alami dari polimer yang hidrofobik juga mengakibatkan turunnya nilai *absorbability* (Justnes, Harald).



Tabel 4.8 Hasil Uji Penyerapan Air berdasarkan Jenis *Binder*

No.	Binder (% wt)		Agregat Pasir (%wt)	<i>Absorbability</i> (%)
	LDPE	PET		
1	10	20	70	2,12
2	20	15	65	2,50
3	30	10	60	2,16
4	40	5	55	1,89
5	45	-	55	4,27
6	-	45	55	1,30
7	100	-	-	3,25
8	-	100	-	0,53

Nilai *absorbability* paling besar didapatkan pada spesimen 5 dengan komposisi 45% LDPE dan 55% pasir. Sedangkan nilai *absorbability* paling kecil didapatkan pada spesimen 8 dengan komposisi 100% PET.

Nilai *absorbability* yang kecil dapat menguntungkan untuk aplikasi bahan bangunan karena dapat mengurangi resiko yang disebabkan oleh penetrasi air ke dalam rongga-rongga dari material bangunan yang dapat menyebabkan kerusakan seperti retakan dan tumbuhnya mikroorganisme yang tidak diinginkan

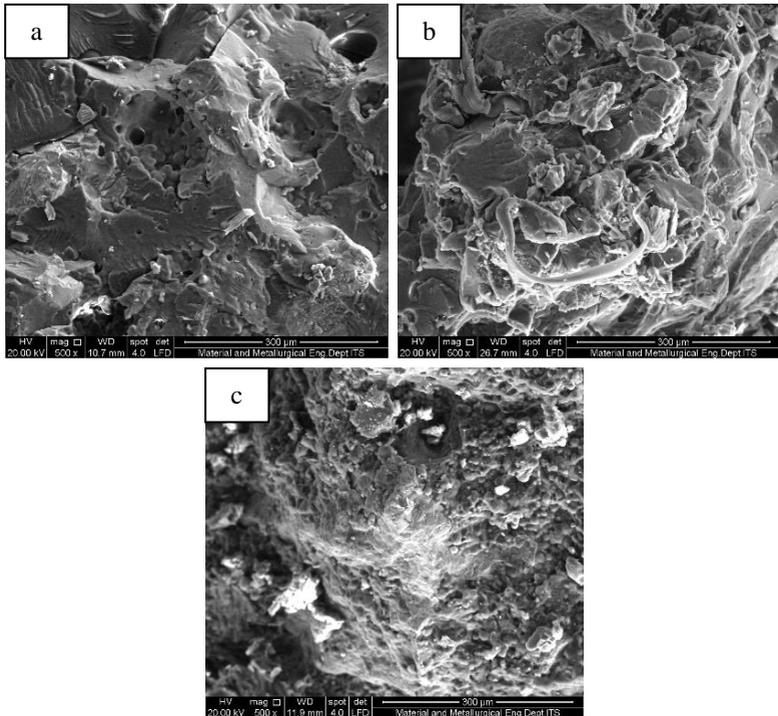
4.5 Scanning Electron Microscope (SEM)

Morfologi dari spesimen komposit ditunjukkan dengan fotomikrograph *Scanning Electron Microscope*. Selain morfologi, melalui fotomikrograph SEM juga bisa didapatkan informasi persebaran porositas, dan ukuran porositas. SEM menganalisa *interface* antara *binder* termoplastik dan agregat berupa pasir.

Pengamatan morfologi dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut



Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan perbesaran sebesar 500x.



Gambar 4.5 Hasil Uji SEM Dengan Perbesaran 500x : (a) Spesimen 2 (b) Spesimen 5 (c) Spesimen 6

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa ada perbedaan morfologi dari masing-masing spesimen komposit. Hal ini dikarenakan komposisi dari *binder* termoplastik dan agregat pasir yang berbeda pada tiap spesimen tersebut. Gambar (a) menunjukkan morfologi spesimen dengan komposisi 20%wt LDPE, 15%wt PET, dan 45% pasir. Gambar (b) menunjukkan



morfologi spesimen dengan komposisi 45%wt LDPE dan 55% pasir. Dan gambar (c) menunjukkan morfologi spesimen dengan komposisi 45%wt PET dan 55% pasir. Pada gambar (a) ditemukan keberadaan *void* yang lebih banyak dibandingkan pada gambar (b) dan juga (c). Hal ini dapat berpengaruh pada sifat mekanik dari komposit (Jafari, 2017).

Morfologi dari komposit yang dibuat dengan *binder* thermoplastik dan agregat pasir terlihat lebih jelas dengan perbesaran yang lebih besar. Morfologi dari spesimen 2 pada gambar (a) terlihat memiliki *void* dengan ukuran yang besar. Perbedaan pada persebaran dan ukuran *void* pada dasarnya diakibatkan pada proses pembuatan biasanya pada saat pencampuran dan juga penuangan. Spesimen nomor 5 yang ditunjukkan pada gambar (b) memiliki *bonding* yang rendah antar *interface* dari *binder* thermoplastik dan juga agregat pasir. Sedangkan pada gambar (c) terlihat lebih merata pada semua bagian dan *interface* antara *binder* dan agregat pasir yang lebih berdekatan satu sama lain.

Tabel 4.9 Nilai %Void Spesimen Komposit

Spesimen	%Void
2	11,56%
5	6,69%
6	2,00%

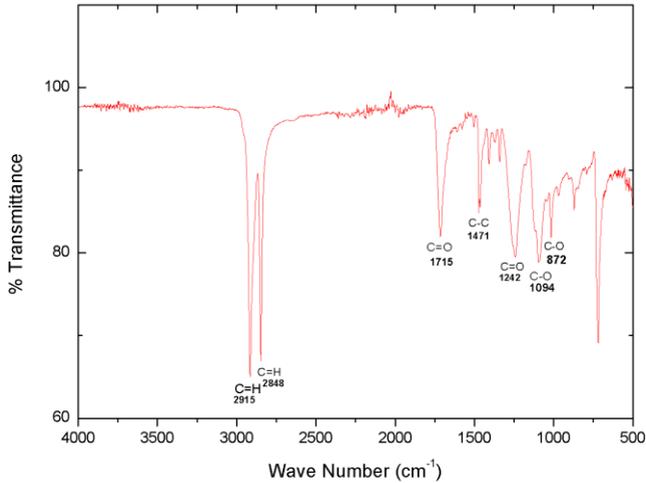
Jika dikaitkan dengan sifat mekanik dan sifat fisik dari komposit yang dihasilkan spesimen nomor 6 pada gambar (c) memiliki kekuatan kompresi yang paling tinggi dibandingkan semua spesimen komposit yang telah dibuat. Bukti juga diperkuat oleh nilai %*void* dari material komposit pada Tabel 4.9. Spesimen



nomor 2 memiliki nilai %void paling besar yaitu 11,56% yang mengakibatkan sifat mekanik yang kurang baik. Sedangkan pada sampel 6 %void paling kecil yaitu sebesar 2% yang mengakibatkan sifat mekanik nya paling baik. Spesimen nomor 6 juga memiliki massa jenis yang lebih tinggi dan nilai *absorbability* yang lebih rendah dibandingkan spesimen nomor 5 pada gambar (b). Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa spesimen nomor 6 adalah material yang lebih *compact* dibandingkan spesimen lainnya yang dilihat secara mikroskopis menggunakan SEM.

4.6 Analisa Hasil FTIR

Pengujian dengan alat FTIR dilakukan untuk menemukan gugus fungsi dari material komposit dan membandingkan dengan gugus fungsi dari material penyusunnya yaitu LDPE dan PET. Pengujian FTIR dilakukan dengan mesin FTIR milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.



Gambar 4.6 Hasil Uji FTIR Komposit Dengan Komposisi 20% wt LDPE, 15% wt PET, dan 65% Pasir

Tabel 4.10 Daerah Serapan Komposit Dengan Komposisi 20% wt, LDPE, 15% WT PET, dan 65% wt Pasir

Wavenumber	Ikatan	Gugus
2915	C=H	Alkana
2848	C=H	Alkana
1715	C=O	Karboxil
1471	C=H	Alkana
1242	C-O	Ester
1094	C-O	Ester
872	C-H	Alkana



Gambar 4.6 menunjukkan hasil uji FTIR dari spesimen nomor 2 dengan komposisi 20% wt LDPE, 15% wt PET, dan 65% wt pasir. Sampel dianalisa pada *wavenumber* antara 4000-500 cm^{-1} . Hasil menunjukkan ikatan C=H dari *polyethylene* pada puncak gelombang tertinggi yaitu 2915 cm^{-1} , 2848 cm^{-1} , dan 1471 cm^{-1} .

Terdapat juga ikatan-ikatan dari thermoplastik PET dengan ikatan karboxil C=O dari PET pada gelombang 1715 cm^{-1} . Ikatan ester C-O juga ditemukan pada gelombang 1242 cm^{-1} dan 1094 cm^{-1} . Dan yang terakhir ditemukan ikatan alkana C-H milik PET pada gelombang 872 cm^{-1} .

Tabel 4.11 Daerah Serapan PET

Wavenumber	Ikatan	Gugus
2958	H-C-H	Alkana
2885	H-C-H	Alkana
1948	C-H	Aromatic Ring
1710	C=O	Karbonil
1458	C=H	Alkana
1100	C-O	Ester
1017	C-O	Ester
870	C-H	Alkana
743	C-H	Aromatic Ring



Tabel 4.12 Daerah Serapan LDPE

Wavenumber	Ikatan	Gugus
2919	C=H	Alkana
2851	C=H	Alkana
1472	C=H	Alkana
1377	C-O	Ester
1366	C-O	Ester
1306	C-O	Ester
1176	C-O	Ester
731	C-H	Metana

Hasil dari pengujian FTIR juga tidak ditemukan adanya puncak baru yang berarti tidak terbentuk adanya ikatan baru pada proses pembuatan komposit dengan *binder* termoplastik LDPE dan PET.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Penambahan *binder* thermoplastik berupa LDPE dan PET hasil pengolahan sampah plastik mempengaruhi sifat mekanik dan sifat fisik dari material komposit. Penambahan *binder* thermoplastik cenderung meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisik dari material komposit. Kekuatan kompresi maksimal dari komposit adalah 15,68 MPa. Kekuatan *bending* maksimal adalah 148,55 MPa.
2. Material komposit yang telah dibuat menggunakan *binder* thermoplastik berupa LDPE dan PET hasil pengolahan sampah plastik memenuhi kriteria untuk material bangunan untuk aplikasi beton ringan struktural dan *paving block* kategori C untuk aplikasi pejalan kaki dan D untuk aplikasi pelataran taman.

5.2 Saran

1. Adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan limbah plastik untuk aplikasi material bangunan.
2. Menggunakan jenis *binder* polimer dengan jenis yang berbeda untuk mengetahui potensi penggunaan berbagai macam polimer untuk aplikasi material bangunan.



(Halaman sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Appiah, J. K. (2017). Use of Waste Plastic Materials for Road Construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials* 6, 1-7.
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (1998). *Engineering Materials Volume 2*. Cambridge, United Kingdom: Butterworth Heinemann.
- Assad, J. J. (2017). *Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair application*. Baabda, Lebanon, Iraq: Elsevier.
- Asthana, K. (2004). Development of polymer modified cementitious (polycem). *Construction and Building Materials* 18, 639-643.
- ASTM D 7264 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite*. (n.d.). ASTM International.
- Bach, C., Dauchy, X., & Etienne, S. (2009). *Characterization of Poly(Ethylene Terephthalate) Used in Commercial Bottled Water*. IOP Publishing.
- Brady, G. S., & Clauser, H. R. (n.d.). *Materials Handbook Fifteenth Edition*. McGraw-Hill.
- Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering an Introduction*. Utah: John Wiley & Sons.
- Coates, J. (2000). *Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach*. Newtown, USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Ding, Y. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber). *Construction and Building Materials*.



- Dionys, van Gemert, D., & Czarnecki, L. (2005). *Cement concrete and concrete–polymer composites: Two merging worlds. A report from 11th ICPIG Congress in Berlin, 2004*. Berlin, Germany: Elsevier.
- Fowler, D. W. (1999). *Polymers in concrete: a vision for the 21st century*. Texas, USA: Elsevier.
- Frigione, M. (2010). *Concrete with Polymers*. Italy: University of Salento.
- Gulmine, J., & Janissek, P. (2001). *Polyethylene Characterization by FTIR*. Curitiba, Brazil: Elsevier.
- Jafari, K. (2017). *Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete*. Tehran, Iran: Elsevier.
- Jassim, A. K. (2017). Recycling of Polyethylene Waste to Produce Plastic Cement. *Procedia Manufacturing* 8, 635-642.
- Justnes, D. H. (n.d.). *Polymer Cement Concrete (PCC) of Interest for Concrete Block Paving*. Trondheim, Norway: SINTEF Structures and Concrete.
- Margolis, J. M. (2006). *Engineering Plastics Handbook*. Montreal, Province of Quebec, Canada: McGraw-Hill.
- Mendivil-Escalante, J., & Gomez Soberon, J. (2015). *Synthesis and Characterization of PET Polymer Resin For Your Application in Concrete*. Mexico: Internation Journal of Structural Analysis & Design-USAD.
- Murugan, R. B. (2016). Material development for a sustainable precast concrete block pavement. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*.



- San Jose, J., & Vegas, I. (2005). *Reinforced polymer concrete: Physical properties of the matrix and static/dynamic bond behaviour*. Bilbao, Spain: Elsevier.
- Tapkire, G., & Parihar, S. (2014). *Recycled Plastic Used in Concrete Paving Block*. Bhopal, India: International Journal of Research in Engineering and Technology.
- Umum, D. P. (2002). *SNI 03-3449-2002 Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*.
- Wessel, J. K. (2004). *Handbook of Advanced Materials*. John Wiley & Sons.
- Wypych, G. (2016). *Handbook of Polymer 2nd Edition*. Toronto, Canada: ChemTec Publishing.
- Zhang, H. (2010). *Building Materials in Civil Engineering*. Woodhead Publishing.



(Halaman sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Perhitungan Kekuatan Kompresi

$$\text{Kekuatan Kompresi} = \frac{\text{Kuat Tekan} \times g}{\text{Luas Permukaan}}$$

$$\text{Gravitasi (g)} = 9,8 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Luas (A)} = 2500 \text{ m}^2$$

Spesimen	Kuat Tekan (MPa)	Compressive Strength (MPa)
1	3500	13,72
2	2000	7,84
3	3200	12,544
4	4000	15,68
5	3600	14,112
6	4000	15,68
7	2700	10,584
8	1300	5,096

Perhitungan Nilai *Absorbability*

$$\% \text{Absorbability} = \frac{(\text{Massa basah} - \text{Massa kering})}{\text{Massa Kering}} \times 100\%$$



Spesimen	Massa Basah	Massa Kering	%Absorbability
1	9,17	8,98	2,12
2	7,37	7,19	2,50
3	5,67	5,55	2,16
4	4,85	4,76	1,89
5	3,91	3,75	4,27
6	4,66	4,6	1,30
7	2,54	2,46	3,25
8	3,8	3,78	0,53

Perhitungan Massa Jenis

$$\text{Massa Jenis} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

Spesimen	Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa Jenis (g/cm ³)
1	7,62	4,95	1,54
2	9,87	5,55	1,78
3	1,75	1,15	1,52
4	0,84	2,53	0,33
5	3,73	4,74	0,79
6	7,23	4,3	1,68
7	1,79	1,76	1,02
8	1,75	1,36	1,29



Perhitungan Kekuatan *Bending*

$$\text{Kekuatan Bending } (\sigma_f) = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

Keterangan :

σ_f = Kekuatan Lentur (Kg/cm²)

L = Support span (cm)

P = Beban patah (Kg)

b = lebar spesimen (cm) = 1,3 cm

d = tebal spesimen (cm) = 0,9 cm

Support Span (cm)	Beban Patah (kg)	Kekuatan Lentur (kg/cm ²)
9,1	3,55	46,02
3,05	19,67	85,46
2,05	18,43	53,82
5,8	17,98	148,55
6,95	10,13	100,29
0,35	19,94	9,94
5,2	12,91	95,63
11,8	2,9	48,75



(Halaman sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS



Dwiki Pratama Putra, atau yang biasa dipanggil Dwiki lahir di Jakarta pada tanggal 23 November 1995. Anak bungsu dari dua bersaudara ini menempuh pendidikan dasar di SD Islam Alzhar 9 Kemang Pratama, Bekasi. Dilanjutkan ke SMP 115 Tebet, Jakarta. Kemudian jenjang atas di SMA 71 Duren Sawit, Jakarta. Ketertarikan penulis pada dunia industri membawa penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama penulis menempuh perkuliahan, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan dan tercatat menjadi pengurus dari beberapa organisasi mahasiswa di ITS. Di antaranya adalah UKM Bola Basket ITS, BEM ITS, dan NACE SC ITS. Penulis juga pernah beberapa kali menjadi ketua panitia dalam beberapa kegiatan organisasi mahasiswa di lingkungan ITS seperti Seminar Migas Nasional dan Seminar Maritim yang diselenggarakan BEM ITS. Selain itu juga penulis berpartisipasi menjadi panitia dalam kegiatan internasional seperti PETROLIDA dan *Asia Pacific Student Conference (APSC) Society of Petroleum Engineers (SPE) ITS SC*. Pengalaman organisasi terakhir penulis adalah sebagai *Vice Head of External Department National Association of Corrosion Engineers (NACE) SC ITS 2016/2017*.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Freeport Indonesia, Tembagapura, Papua selama dua bulan pada bulan Juni-Agustus tahun 2017.

Topik tugas akhir yang diambil penulis adalah pada bidang Material Inovatif dengan judul “Studi Pengaruh Penambahan *Binder Thermoplastic* LDPE dan PET Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat Untuk Aplikasi Material Bangunan”.