

Studi Pengaruh Penambahan *Binder Thermoplastic* Ldpe dan Pet Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat untuk Aplikasi Material Bangunan

Dwiki Pratama Putra, Sigit Tri Wicaksono, Amaliya Rasyida, Ridho Bayuaji
Departemen Teknik Material & Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail : sigit@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Sampah plastik telah lama menjadi permasalahan kota-kota besar, tidak hanya di Indonesia namun juga di dunia. Sampah plastik sangat sulit untuk teruraikan secara alami. Plastik banyak digunakan di seluruh dunia karena memiliki beberapa keunggulan sifat di antaranya adalah ketahanan korosi yang baik, berat yang ringan, flexibel, dan isolator panas dan listrik yang baik. 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.

I. PENDAHULUAN

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 kedua 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 [1].

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* [2]. 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.

II. METODE PENELITIAN

A. Material

Material yang digunakan adalah sampah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang telah dibersihkan dan dicacah. Serta agregat berupa pasir.

B. Preparasi spesimen

Pengolahan sampah plastik LDPE dan PET dengan mencuci lalu mencacah menggunakan mesin pencacah. Metode pembuatan komposit ini menggunakan metode blending. Terdapat 8 komposisi dalam percobaan ini yang ditunjukkan pada Tabel 1.

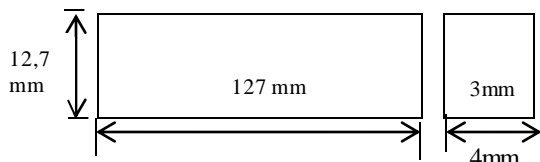
Plastik LDPE dan PET yang telah meleleh dicampur dengan pasir lalu diaduk secara merata lalu dituangkan kedalam cetakan sebelum campuran mengeras sehingga penuangan menjadi sulit. Pembuatan cetakan untuk uji bending menggunakan seng yang dibentuk dengan dimensi 127x12,7x3 mm. Untuk uji kompresi spesimen dituang ke dalam cetakan dengan dimensi 5x5x5 cm. Untuk pengujian serap air, densitas, SEM, dan FTIR digunakan spesimen sisa potongan pengujian kompresi dengan ukuran yang sesuai dengan yang dibutuhkan.

Tabel 1.
Komposisi Material 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	-

C. Pengujian bending

Pengujian *bending* 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.



Gambar 1. Dimensi spesimen uji bending

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_f = \frac{3 PL}{2 bd^2} \tag{1}$$

Keterangan :

σ_f = Kekuatan Lentur (Kg/cm²)

L = Support span (cm)

P = Beban patah (Kg)

b = lebar spesimen (cm)

d = tebal spesimen (cm)



Gambar 2. Spesimen uji bending

D. 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, kita dapat mengetahui aplikasi yang cocok untuk setiap material komposit yang telah dibuat. Dimensi spesimen yang dibuat untuk pengujian kompresi adalah 5x5x5 cm.



Gambar 3. Spesimen uji kompresi

E. Pengujian Densitas

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

F. Pengujian Absorbability

Pengujian *absorbability* dilakukan dengan 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. 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 4. 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.

G. Scanning Electron Microscopy (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 45x dan 500x.

H. Pengujian 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

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

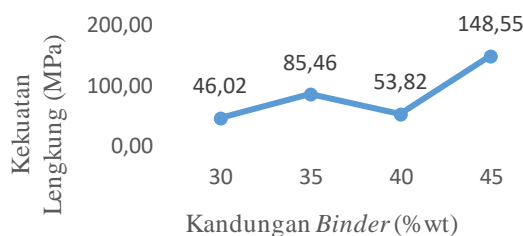
A. Pengujian bending

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 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji bending

No.	Binder (%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

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 5. Grafik nilai kekuatan bending komposit

Bahan bangunan seperti beton, ubin, dan dinding biasanya memiliki karakteristik yang kaku sehingga dapat memiliki ketangguhan yang kurang baik [3]. 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 [3].

B. Pengujian kompresi

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa adanya binder termoplastik dalam komposit, mempengaruhi nilai kekuatan kompresi. Kekuatan bending ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kompresi

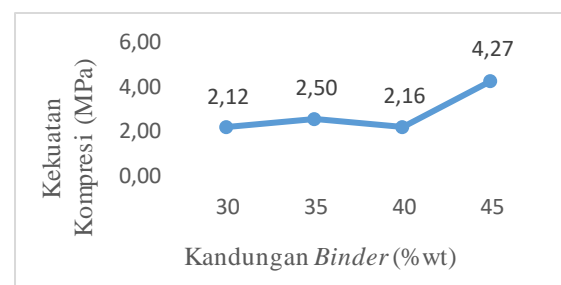
No.	Binder (%wt)	Agregat Pasir (%wt)	Kekuatan Kompresi (MPa)
1	30	70	13,72
2	35	65	7,84
3	40	60	12,54
4	45	55	15,68

Gambar 6 menunjukkan bukti bahwa dengan penambahan binder berupa termoplastik dapat meningkatkan kekuatan kompresi dari komposit untuk aplikasi material bangunan. Kekuatan kompresi paling tinggi didapatkan dengan komposisi 45%wt binder termoplastik 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 termoplastik (Asthana, 2004). Karakteristik polimer yang mengisi pori juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari material komposit [3].

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 untuk pejalan kaki dan D untuk pelataran taman yang memiliki standar kekuatan kompresi minimal sebesar 12,5 MPa untuk kategori C dan 8,5 MPa untuk kategori D.

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.



Gambar 6. Hasil uji kompresi

C. Pengujian densitas

Dari hasil pengujian dengan adanya penambahan binder thermoplastik dalam komposit mempengaruhi nilai kekuatan *bending* dari komposit tergantung dari banyaknya komposisi binder thermoplastik pada komposit. Hasil uji *bending* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil uji densitas

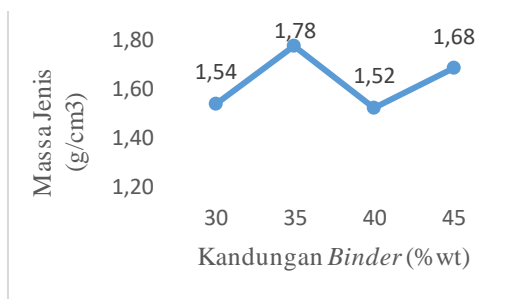
No.	Binder (% wt)	Agregat Pasir (% wt)	Density (g/cm ³)
1	30	70	1,54
2	35	65	1,78
3	40	60	1,52
5	45	55	0,79

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 7 menunjukkan nilai massa jenis komposit dengan adanya penambahan binder thermoplastik dalam grafik. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan binder thermoplastik 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 [4].

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.



Gambar 7. Hasil uji densitas

D. Uji penyerapan air

Tabel 5 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%.

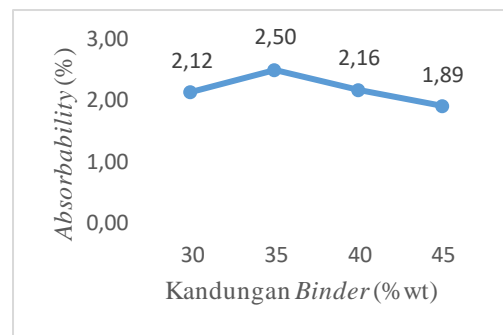
Tabel 5.
Hasil uji penyerapan air

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

Gambar 8 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) [5]. Selain itu sifat alami dari polimer yang hidrofobik juga mengakibatkan turunnya nilai *absorbability* [6].

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.



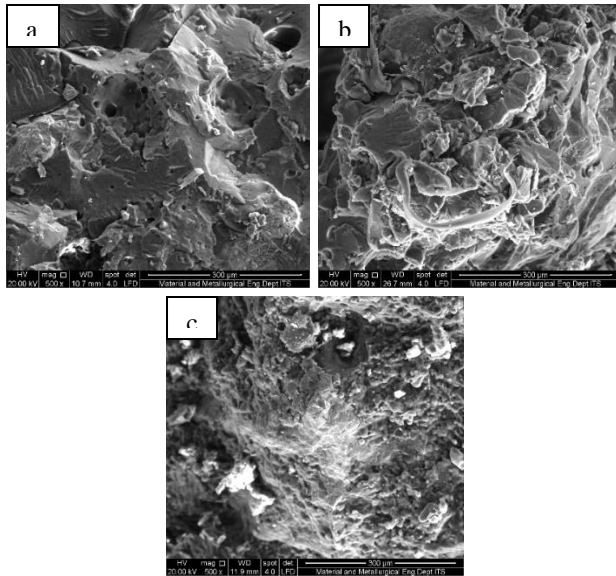
Gambar 8. Hasil pengujian serap air

E. 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 thermoplastik 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. Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa ada perbedaan morfologi dari masing-masing spesimen komposit. Hal ini dikarenakan komposisi dari binder thermoplastik 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 [4].



Gambar 9. Hasil uji SEM dengan perbesaran 500x : (a) Spesimen 2 (b) Spesimen 5 (c) Spesimen 6

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 6.
Nilai %Void Spesimen Komposit

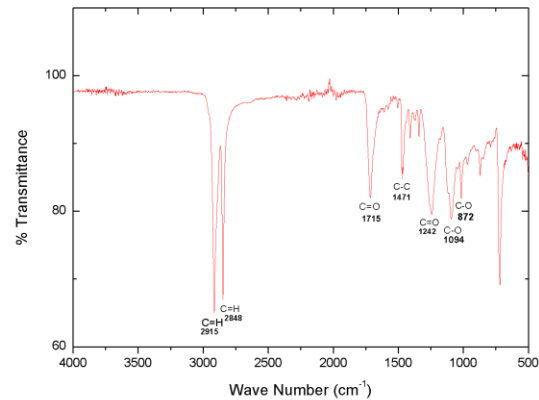
Spesimen	%Void
2	11,56%
5	6,69%
6	2,00%

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 6. 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 juga 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.

F. 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 11. Hasil uji FTIR komposit dengan komposisi 20%wt LDPE, 15%wt PET, dan 65% Pasir

Tabel 7.
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 11 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} .

Melalui pengujian FTIR diketahui bahwa terdapat pergeseran daerah serapan pada beberapa gelombang dibandingkan dengan pada LDPE dan PET murni. Hasil dari pengujian FTIR juga tidak ditemukan adanya puncak baru yang berarti tidak terbentuk adanya ikatan baru pada proses pembuatan komposit dengan *binder* thermoplastik LDPE dan PET.

Tabel 8.
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 9.
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

IV. KESIMPULAN

Penambahan *binder* termoplastik berupa LDPE dan PET hasil pengolahan sampah plastik mempengaruhi sifat mekanik

dan sifat fisik dari material komposit. Penambahan *binder* termoplastik cenderung meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisik dari material komposit. Material komposit yang telah dibuat menggunakan *binder* termoplastik 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.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih banyak kepada Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D sebagai inisiator dari "*Plastic Waste Project*" sebagai inspirasi utama untuk penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Tapkire, G., & Parihar, "Recycled Plastic Used in Concrete Paving Block," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, 2014.
- [2] D. W. Fowler, *Polymers in concrete: a vision for the 21st century*. Texas: Elsevier, 1999.
- [3] M. Frigione, *Concrete with Polymers*. Italy: University of Salento, 2010.
- [4] K. Jafari, *Experimental and analytical evaluation of rubberized polymer concrete*. Iran: Elsevier, 2017.
- [5] K. Asthana, "Development of polymer modified cementitious (polycem)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, pp. 639-643, 2004.
- [6] D. H. (n. d.). Justnes, *Polymer Cement Concrete (PCC) of Interest for Concrete Block Paving*. Trondheim, Norway: SINTEF Structures and Concrete.