

PENGARUH GRADASI SERAGAM POLIETILEN TEREFTALATE SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK BETON NORMAL

Andhika Satrio Wicaksono¹ dan Atika Ulfah Jamal²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 14511125@students.uii.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: atika.ulfah@uii.ac.id

Abstract : *Along with the development of concrete technology, various researches have been conducted. One of the researches is using polyethylene terephthalate (PET) in concrete constituent. Normal concrete with 5 % PET as a substitute in part of fine aggregates could increase the compressive strength. Beside the character of aggregates, another thing that should be noticed in concrete mixture is aggregates gradation. Compressive strength of uniform gradation was increased along with the size of aggregates. Based on these, it is necessary to do research about the influence of PET in uniform gradation as substitutes in part of fine aggregates towards normal concrete characteristic which aims to obtain optimum grain size that can be used to improve the characteristic of concrete. This research used mix design based on SNI 03-2834-2000. The concrete mixture used PET in uniform gradation with 5 % content as a substitute in part of fine aggregates. The variations dimension were 4,8 mm ; 2,4 mm ; 1,2 mm. The purpose of this research was to discover the concrete characteristic specifically weight volume, water adsorption, tensile strength, compressive strength, and modulus elasticity of a cylinder sample (diameter 15 cm and height 30 cm). The results showed that weight volume decreased and water adsorptions increased along with the bigger size of PET . There was an increased in variation dimension 2,4 mm about 1,42% of normal concrete. The compressive strength values along with the bigger size of PET were 21,1 MPa ; 14,6 MPa ; 21,4 MPa ; 17,1 MPa. Tensile strength value decreased along with the smaller size of PET. The lowest tensile strength is 1,48 MPa for variation dimension 1,2 mm. The concrete modulus elasticity of PET in uniform gradation with 5% content as a substitutes in part of fine aggregates have lower value than normal concrete.*

Keyword : *PET, Compressive Stength, Tensile Strength, Modulus Elasticity*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan bangunan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi. Saat ini banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan campuran beton yang dapat memperbaiki sifat-sifat beton. Salah satunya adalah penggunaan *polyethylene terephthalate* (PET) pada bahan penyusun beton.

Menurut Surdia (1999), PET merupakan resin polimer termoplastik dari kelompok *polyester* yang dihasilkan melalui hasil kondensasi monomer. PET banyak diproduksi dalam bidang industri sebagai serat sintetis yang akan menjadi bahan dasar dari botol plastik. Menurut ACI-Committee 544 (1984), PET memiliki kuat tarik 100-125 ksi yang merupakan $\frac{1}{4}$ dari kuat tarik baja. Berdasarkan hal tersebut,

penambahan *PET* dalam beton normal bertujuan untuk meningkatkan kuat tarik beton normal agar beton tidak mudah retak, dan mengurangi penggunaan baja tulangan pada beton normal. Menurut Rahmani (2013), beton normal dengan kadar 5% *PET* sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat menambahkan nilai kuat tekan mencapai nilai optimum.

Selain sifat agregat, hal lain yang perlu diperhatikan pada campuran beton adalah gradasi agregat. Penggunaan gradasi agregat dapat mempengaruhi karakteristik beton (sifat mekanik dan sifat fisik). Menurut Mulyono (2005), Gradasi adalah distribusi dari ukuran agregat. Macam-macam gradasi agregat adalah gradasi sela, gradasi menerus, gradasi seragam. Gradasi sela adalah distribusi ukuran yang salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada. Gradasi menerus adalah agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Gradasi seragam adalah agregat yang mempunyai ukuran yang sama. Menurut Ekwulo (2017), kuat tekan beton dari gradasi seragam meningkat bersamaan dengan semakin besarnya ukuran agregat.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh gradasi seragam *PET* sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik beton normal. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran butir optimum yang dapat digunakan untuk mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanik beton.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Karakteristik Beton

Karakteristik beton meliputi sifat fisik dan sifat mekanik. sifat fisik beton berupa berat volume dan penyerapan air, sedangkan sifat mekanik beton berupa tegangan aksial, tegangan tarik, dan modulus elastisitas.

Berat volume adalah berat beton tiap satuan volume, dengan benda uji silinder berat volume beton menjadi sebagai berikut.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{\frac{1}{4} \pi d^2 t} \quad (1)$$

dengan W = berat beton, d = diameter rata-rata beton, dan t = tinggi beton.

Penyerapan air beton adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh ruang-ruang kosong pada beton.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan M_b = massa basah beton, dan M_k = massa kering beton.

Tegangan aksial adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

dengan σ = tegangan, P = beban tekan maksimum, dan A = luas permukaan benda uji.

Tegangan tarik dapat diperoleh dari hasil pembebanan benda uji silinder yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja pada mesin uji.

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (4)$$

dengan F_{ct} = kuat tarik – belah, P = beban uji maksimum yang ditunjukkan mesin uji, L = panjang benda uji, dan D = diameter benda uji.

Modulus elastisitas beton menunjukkan kekakuan beton dalam menerima beban. Menurut ASTM C-469 modulus dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050} \quad (5)$$

dengan E_c = modulus elastisitas beton, S_2 = kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum, S_1 = kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai $\epsilon_1 = 0,000005$, dan ϵ_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2 .

2.2 Polyethylene Terephthalate (PET)

Menurut Surdia (1999), Sifat-sifat yang dimiliki *Polyethylene Terephthalate* adalah

permukaan yang halus mengkilat, memiliki titik leleh yang reaktif tinggi, memiliki kestabilan dimensi karena serapan airnya dan koefisien ekspansif termalnya rendah. Bahan mempunyai kekakuan tinggi, kekuatan mekanik yang unggul, tinggi dalam ketahanan *impact*, ketahanan abrasi, koefisien gesek, ketahanan tarik, ketahanan retak, ketahanan cuaca yang baik.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berupa percobaan yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini berupa perubahan ukuran agregat buatan dari *Polyethylene Terephthalate (PET)* dengan gradasi seragam. Variabel terikat berupa kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, modulus elastisitas beton. Faktor lain seperti berat jenis agregat, proporsi campuran beton, dan perawatan dianggap sebagai variabel yang tidak berpengaruh. Rencana campuran beton normal berpedoman pada SNI 03-2834-2000.

3.1 Batasan Penelitian

Kuat tekan beton rencana ($f'c$) adalah 20 MPa. Semen portland yang digunakan adalah *Pozzolan Composite Cement* Tipe I merek Holcim, agregat kasar menggunakan batu pecah dari Clereng, agregat halus yang digunakan merupakan pasir alami dari Gunung Merapi, air yang digunakan adalah air PDAM. Agregat buatan yang digunakan sebagai pengganti agregat halus adalah biji *PET* biru muda. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm

3.2 Jenis Pengujian

Variasi penelitian berupa sebagai berikut.

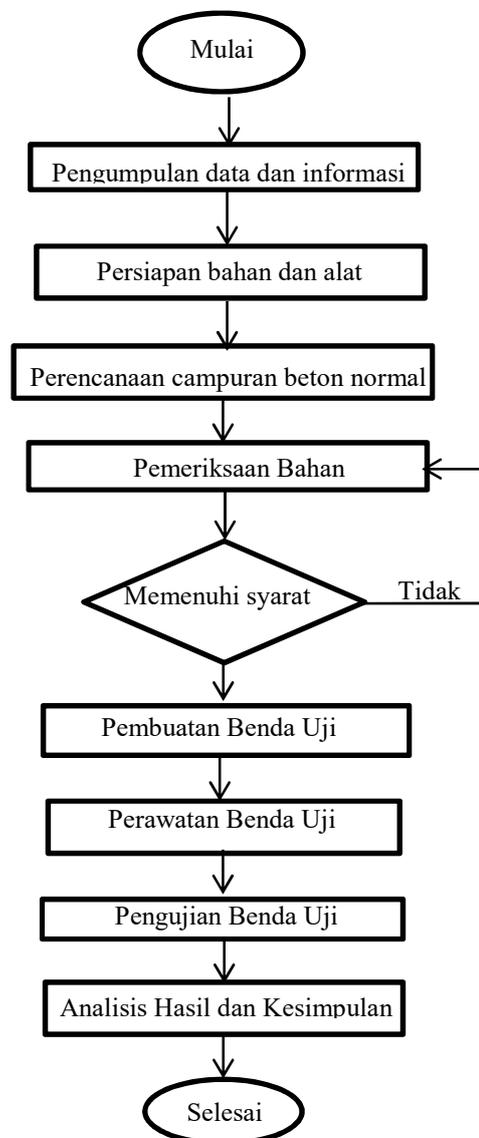
1. beton normal kadar *PET* 0%
2. beton normal kadar *PET* 5% dengan agregat halus bergradasi seragam 1,2 mm
3. beton normal kadar *PET* 5% dengan agregat halus bergradasi seragam 2,4 mm

4. beton normal kadar *PET* 5% dengan agregat halus bergradasi seragam 4,8 mm

dengan masing-masing variasi berupa 3 buah sampel dalam tiap pengujian yang terdiri dari uji kuat tekan dan modulus elastisitas, uji kuat tarik, uji penyerapan air. Jumlah total sampel yang dibuat adalah 36 sampel.

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan mencakup berat jenis, penyerapan air, modulus halus butir, dan kadar lumpur. Pengujian agregat buatan PET hanya dilakukan pengujian berat jenis. Hasil pengujian agregat ini akan digunakan dalam perencanaan beton normal. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Hasil Pengujian Agregat

Jenis Pengujian	Agregat Kasar	Agregat Halus	PET
Berat jenis SSD	2,621	2,410	1,333
Penyerapan air	3,54%	5,71%	-
Modulus Halus Butir (MHB)	6,75	2,5338	-
Lolos ayakan no 200	0,700%	1,590%	-

4.2 Rencana Campuran Beton

Hasil perhitungan kebutuhan bahan penyusun beton yang berpedoman dari SNI 03-2834-2000 pada setiap benda uji adalah sebagai berikut.

Semen = 1,457 kg

Air = 0,777 kg

Agregat Kasar = 4,264 kg

Agregat Halus = 6,011 kg

Dengan campuran PET 5% dari agregat halus sebagai berikut.

Agregat Halus = 4,051 kg

PET = 0,213 kg

Total benda uji adalah 36 buah

Hasil rekapitulasi kebutuhan bahan penyusun beton tiap variasi dengan 5 buah benda uji tiap melakukan pencampuran

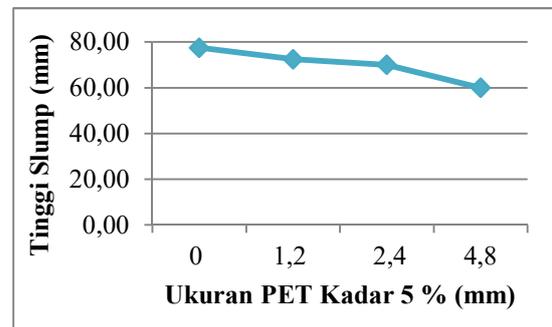
Tabel 2 Rekapitulasi Kebutuhan Bahan Penyusun Beton

Kode Benda Uji	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	PET 5% (kg)
BN	8,747	4,666	25,586	36,068	0
BA (1,2 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066
BB (2,4 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066
BC (4,8 mm)	8,747	4,666	24,307	36,068	1,066

dapat dilihat pada Tabel 2.

4.3 Pengujian nilai Slump

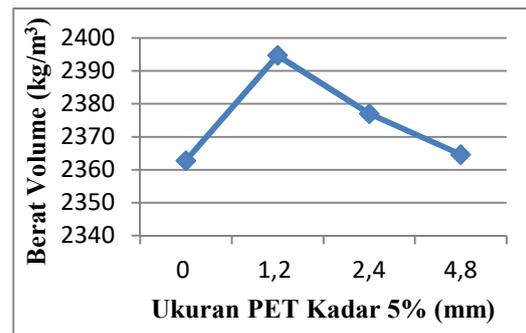
Gambar 2 menunjukkan nilai slump semakin menurun seiring dengan semakin besarnya ukuran PET. Hal ini disebabkan karena jumlah butir PET yang banyak dan kecil memiliki nilai slump yang tinggi karena kemampuan bahan penyusun untuk tergelincir semakin besar.



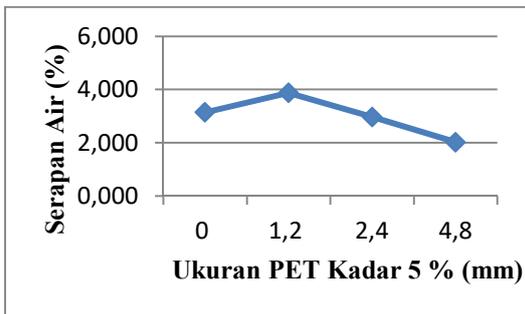
Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian nilai Slump

4.3 Pengujian Sifat Fisik

Sifat fisik beton yang ditinjau adalah berat volume dan penyerapan air. Berat volume beton dan penyerapan air dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 3 dan Gambar 4



Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian Berat Volume

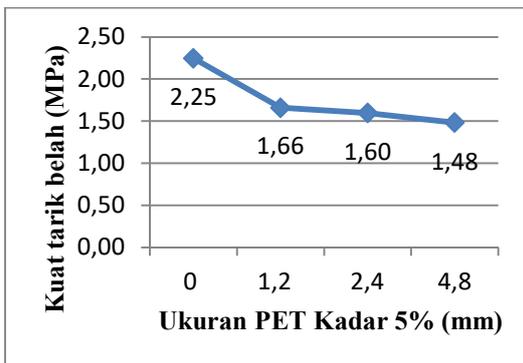


Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Penyerapan Air

PET bergradasi seragam yang ukurannya semakin besar menyebabkan berat volume semakin kecil, sebaliknya dalam pengujian penyerapan air nya menjadi semakin besar. Hal ini disebabkan ukuran *PET* semakin kecil yang bisa mengisi pori-pori pada beton dan membuat beton semakin padat. Beton yang semakin padat akan menaikkan berat volume beton dan berkurangnya pori-pori pada beton dapat mengurangi penyerapan air.

4.4 Pengujian Sifat Mekanik

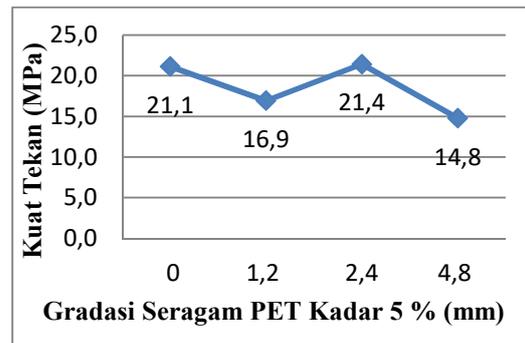
Pada penelitian ini, sifat mekanik beton yang ditinjau adalah uji kuat tekan, uji kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 5, hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 6, hasil pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai kuat tarik akan menurun seiring dengan semakin besarnya ukuran *PET*. Hal ini disebabkan

oleh sifat *PET* yang memiliki permukaan halus dan licin bahkan lebih halus daripada pasir. Apabila jumlah butir *PET* terlalu banyak dengan sifat *PET* yang halus ini akan membuat bahan penyusun sulit untuk menahan beban karena gesekan antara pasta dan permukaan butir berkurang.

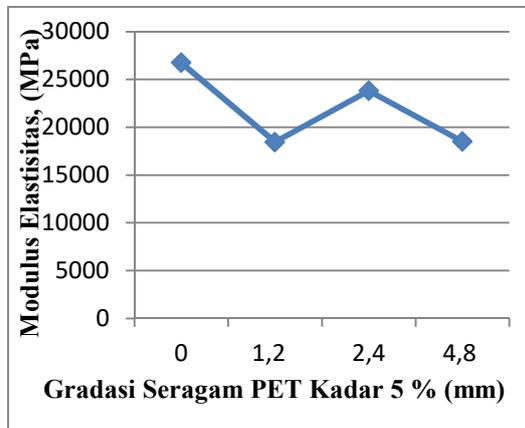


Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Walaupun seiring dengan semakin kecilnya ukuran *PET* mendapatkan berat volume yang semakin besar. Namun berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan *PET* kadar 5% dengan menggunakan gradasi seragam sebagai pengganti sebagian agregat halus pada pengujian kuat tekan mengalami fluktuatif. Pada beton dengan *PET* kadar 5% bergradasi seragam berukuran 4,8 mm dan beton dengan *PET* kadar 5% bergradasi seragam berukuran 1,2 mm mengalami penurunan daripada beton normal. Namun, pada beton dengan *PET* kadar 5% bergradasi seragam berukuran 2,4 mm dapat menaikkan kuat tekan sebesar 1,42 % dari kuat tekan beton normal. Hal ini disebabkan karena *PET* dapat mengisi pori-pori pada beton dan mengganti agregat halus yang hilang pada Daerah II.

Gambar 7 menunjukkan nilai modulus elastisitas beton mengalami fluktuatif. Pada penggunaan gradasi seragam ukuran 4,8 mm, modulus elastisitas menurun dikarenakan ukuran *PET* kadar 5% cukup besar sehingga sulit untuk mengisi ruang-ruang pada beton, sedangkan pada gradasi seragam ukuran 2,4 mm modulus elastisitas naik mendekati nilai ketika beton normal

dikarenakan *PET* kadar 5 % cukup dapat mengisi ruang-ruang pada beton dan jumlah *PET* tidak terlalu banyak.



Gambar 7 Grafik Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pada gradasi seragam ukuran 1,2 mm mengalami penurunan nilai modulus elastisitas, karena *PET* berukuran kecil, jumlah butirannya menjadi banyak, dan butir *PET* lebih halus dan licin dari agregat halus yang digunakan menyebabkan campuran sulit untuk mengalami gesekan antara pasta semen dengan campuran beton. Hal ini menyebabkan campuran kekurangan kemampuan untuk menahan beban dan mengalami penurunan modulus elastisitas.

Nilai modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan bahwa beton dapat melakukan deformasi dengan mudah dan dapat kembali ke bentuk asalnya, sedangkan dengan nilai modulus elastisitas yang rendah menunjukkan bahwa beton mudah getas dan retak. Walaupun pada beton *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton dengan *PET* 5% yang lainnya, namun keadaan ini belum dapat lebih tinggi daripada beton normal. Hal ini disebabkan dengan sifat *PET* yang getas, maka mortar mudah retak.

4.5 Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan-

hubungan antar pengujian yang dilakukan. Hubungan nilai *slump* dengan berat volume yang berbanding lurus walaupun pada nilai *slump* mengalami penurunan dari beton normal ke *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 4,8 mm ini dikarenakan sifat *PET* yang ringan, tahan air. Namun secara nilai *slump* terus meningkat berbanding lurus dengan berat volume nya.

Hubungan antara berat volume dan penyerapan air yang berbanding terbalik karena penggunaan ukuran *PET* yang semakin kecil membuat beton semakin padat. Kepadatan beton disebabkan pori-pori pada beton diisi dengan *PET* yang dapat mengurangi penyerapan air. Walaupun beton yang padat seharusnya memiliki kuat tekan yang tinggi, namun tidak pada penelitian menggunakan *PET* kadar 5% bergradasi seragam. Pada *PET* 5% bergradasi seragam berukuran 4,8 mm mengalami penurunan dari beton normal dikarenakan jumlah butir *PET* kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus yang berukuran 4,8 mm yang seharusnya agregat halus berfungsi sebagai pengisi dan akan menjadi mortar apabila tercampur dengan semen dan air yang dapat mengikat bahan penyusun beton lainnya. Gradasi seragam ini membuat mortar tidak tercampur dengan maksimal dikarenakan ukuran *PET* sebagai substitusi sebagian gradasi agregat halus yang besar. Pada *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm mengalami kenaikan karena butir-butir *PET* bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm dapat mengikat bahan penyusun beton yang lainnya dengan lebih baik. Hal ini dapat dibuktikan terjadi kenaikan pada *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm yang menyebabkan nilai kuat tekan naik. Pada *PET* 5% bergradasi seragam dengan ukuran 1,2 mm mengalami penurunan karena jumlah butir *PET* yang banyak membuat *PET* tidak dapat mengikat karena sifat *PET* yang halus dan licin.

Hubungan antara nilai kuat tekan dengan nilai modulus elastisitas yang berbanding

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji

Kodefikasi	Nilai Slump (mm)	Berat Volume (kg/m ²)	Penyerapan Air (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
PET 0%	77,50	2362,751	3,048	21,124	2,246	26764,606
PET 5 % 4,8 mm	60,00	2364,630	2,932	17,140	1,645	18501,823
PET 5 % 2,4 mm	70,00	2377,017	2,884	21,424	1,596	23812,962
PET 5 % 1,2 mm	72,50	2394,699	2,740	14,612	1,477	18450,538

lurus. Namun, dapat dilihat pada modulus elastisitas *PET* kadar 5% bergradasi seragam dengan ukuran 2,4 mm lebih rendah dari beton normal tidak seperti nilai kuat tekannya yg ternyata lebih tinggi dari beton normal. Hal ini disebabkan karena sifat getas pada *PET*.

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan penggunaan *PET* kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan bergradasi seragam tidak direkomendasikan. Hal ini disebabkan substitusi sebagian agregat halus lebih dominan mengurangi sifat mekanik beton.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berat volume beton menjadi semakin padat seiring dengan semakin kecilnya *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5%.
2. Nilai berat volume yang semakin meningkat membuat penyerapan air semakin berkurang seiring dengan penambahan *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5 % sebagai pengganti sebagian agregat halus yang ukurannya semakin kecil.
3. Penggunaan *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% dapat menurunkan kuat tarik beton seiring dengan semakin kecilnya ukuran *PET*

4. Nilai kuat tekan fluktuatif pada penggunaan *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus, nilai kuat tekan tertinggi ada pada *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus ukuran 2,4 mm. Nilai kuat tekannya 1,42 % lebih tinggi dari beton normal.
5. Nilai modulus elastisitas fluktuatif pada penggunaan *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus, nilai modulus elastisitas tertinggi ada pada beton normal tanpa penggunaan *PET* karena *PET* memiliki sifat getas yang menyebabkan modulus elastisitas rendah.
6. Ukuran optimum yang dapat meningkatkan sifat beton adalah *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus berukuran 2,4 mm karena sifat mekanik lebih diutamakan daripada sifat fisik beton.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari penelitian diatas, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik diperlukan beberapa saran. Saran-saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan *PET* bergradasi seragam dengan kadar 5% sebagai pengganti sebagian agregat halus tidak direkomendasikan untuk digunakan pada penggunaan beton pada umumnya karena substitusi sebagian

agregat halus lebih dominan mengurangi sifat mekanik beton.

2. Dilakukan pengujian kekuatan hancur *PET* dengan menggunakan *PET* yang dibentuk menjadi kubus. Perlu dilakukan perbandingan antara kekuatan hancur agregat kasar dengan kekuatan hancur *PET* untuk mengetahui pengaruh kekuatan dalam menahan beban. Hasil pengujian ini juga dapat digunakan sebagai perencanaan beton ringan.
3. Dilakukan pengujian berat volume *PET*. Diperlukan untuk mengetahui pengaruh berat volume akibat agregat yang diganti oleh *PET*.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute, 1984, *Fiber Reinforced Concrete*, ACI-Committee 544. Washington D.C.

Badan Standarisasi Nasional, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*, Jakarta.

Mulyono, Tri, 2005, *Teknologi Beton*, C.V ANDI OFFSET, Yogyakarta

Rahmani, E., dkk, 2013, *On The Mechanical Propoerties Of Concrete Containing Waste PET Particles*, Journal of Construction and Building Materials 47 (2013) 1302-1308, Iran.

Ekwulo, E.O., and Eme, D.B., 2017, *Effect of Aggregate Size and Gradation on Compressive Strength of Normal Strength Concrete for Rigid Pavement*, American Journal of Engineering Research Volume 6 Issue 9, Department of Civil Engineering, University of Port Harcourt, Nigeria.

Surdia. P. dan Saito. S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Mulyono, Tri, 2005, *Teknologi Beton*, C.V ANDI OFFSET, Yogyakarta