

Efek Penambahan Serat Limbah Botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Fly Ash* Terhadap Hasil Uji *Ultrasonic Pulse Velocity* Pada *Self Compacting Concrete*

Rifki Alfirahman¹⁾, Slamet Widodo²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta

Email: rifkialfirahman@gmail.com¹⁾, swidodo@uny.ac.id²⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i1.795>

(Received: July 2022 / Revised: November 2022 / Accepted: December 2022)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan penambahan serat plastik PET pada *Self Compacting Concrete* (SCC) terhadap karakteristik beton segar, kuat tekan beton, kecepatan rambat gelombang ultrasonik (UPV), dan modulus elastisitas dinamik. Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Penambahan serat PET diberikan sebesar 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75% berdasarkan *volume fraction* matriks beton. Sedangkan penggantian parsial semen dengan *fly ash* dilakukan sebesar 0% dan 15%. Terdapat delapan varian dalam penelitian ini. Masing-masing varian terdiri dari lima benda uji silinder berukuran 150×300 mm. Sehingga total terdapat 40 benda uji. Pengujian kuat tekan dan cepat rambat gelombang dilakukan saat benda uji berumur 56 hari. Pengukuran UPV dilakukan sebanyak lima titik setiap benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas campuran beton segar mengalami penurunan seiring dengan penambahan serat PET secara bertahap. Pada pengujian beton kondisi mengeras, penambahan serat PET cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan, kecepatan gelombang ultrasonik, dan modulus elastisitas dinamik. Persentase penambahan serat PET pada campuran beton tanpa *fly ash* yaitu sebesar 0,50%, sedangkan pada campuran dengan substitusi semen dengan 15% *fly ash* yaitu sebesar 0,25%.

Kata kunci: *Ultrasonic pulse velocity*, *kuat tekan*, *self compacting concrete*, *fly ash*, *serat plastik PET*

Abstract

This study aims to determine the effect of partial replacement of cement with fly ash and the addition of PET plastic fibers to Self Compacting Concrete (SCC) on the characteristics of fresh concrete, compressive strength of concrete, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), and dynamic modulus of elasticity. This research classified as experimental research conducted in the laboratory. The addition of PET fiber is given at 0%; 0.25%; 0.50%; and 0.75% based on the volume fraction of the concrete matrix. While the partial replacement of cement with fly ash was carried out at 0% and 15%. There are eight variants in this study. Each variant consists of five cylindrical specimens 150×300 mm. So in total there are 40 specimens. Tests for compressive strength and UPV were carried out when the specimens were 56 days old. UPV measurements were carried out at five points for each specimens. The results showed that the quality of the fresh concrete mix decreased with the gradual addition of PET fiber. In testing the hardened condition of concrete, the addition of PET fibers tends to cause a decrease in

compressive strength, ultrasonic wave speed, and dynamic elastic modulus. The percentage of addition of PET fiber to the concrete mixture without fly ash was 0.50%, whereas in the mixture with cement substitution with 15% fly ash, it was 0.25%.

Keywords: *Ultrasonic pulse velocity, compressive strength, self compacting concrete, fly ash, PET plastic fiber*

1. Latar Belakang

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan jenis beton yang memiliki tingkat kecairan yang rendah. Karakteristik tersebut membuat campuran beton *SCC* memiliki *flowability* tinggi sehingga mampu mengalir untuk mengisi cetakan tanpa memerlukan vibrasi khusus, dengan kemampuan tersebut, *SCC* cocok digunakan untuk pengecoran pada daerah padat tulangan (Budi et al., 2021). Dari segi komposisi material penyusunnya, persentase agregat halus pada *SCC* cenderung lebih besar daripada agregat kasar, hal ini bertujuan untuk mengurangi energi gesekan antara permukaan material (Neville dan Brooks, 2010).

Limbah sampah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang cukup serius hingga saat ini. Sifat plastik yang tahan air membuat material ini banyak digunakan namun plastik merupakan bahan yang sulit terurai. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa produksi limbah sampah plastik di Indonesia sebesar 64 juta ton setiap tahunnya, dari angka tersebut 3,2 juta ton dibuang ke laut (Ihsannudin dan Ping, 2020), hal tersebut diperkuat oleh hasil penelitian Jambeck et al. (2015) yang menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan penanganan sampah terburuk kedua di dunia. Menurutnya, 83% atau sekitar 3,22 juta metrik ton sampah yang ada di Indonesia tidak terkelola dengan baik, 10,1% di antaranya merupakan sampah plastik. Dalam penelitian di beberapa sekolah, Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup (PPLH) Bali menyebutkan bahwa gelas atau botol plastik berbahan *Polyethylene Terephthalate (PET)* menjadi penyumbang sampah plastik terbesar, yaitu sebesar 26% (Ihsannudin dan Ping, 2020).

Beton dengan campuran limbah plastik PET merupakan salah satu solusi dalam mengurangi jumlah limbah plastik yang ada di lingkungan. Plastik PET yang berasal dari botol plastik dipotong memanjang hingga berbentuk layaknya serat. Penambahan serat dalam campuran beton dapat menambah kekuatan beton dalam menahan gaya Tarik, hal ini cocok mengingat beton memiliki kekuatan tarik yang lemah (Apriliya et al., 2021).

Bahan tambah tertentu (*admixture*) sering ditambahkan pada beton untuk merekayasa sifat beton. *Fly ash* merupakan bahan tambah mineral yang sering ditambahkan pada beton. Deposit limbah *fly ash* di lingkungan terhitung cukup banyak, sehingga perlu ada upaya dalam mengurangi jumlah tersebut. Dalam campuran *SCC*, *fly ash* berperan untuk menyerap kelebihan air akibat penambahan *superplasticizer* (Memon et al., 2020). Selain itu penambahan *fly ash* dalam beton berperan dalam mengontrol stabilitas campuran beton. Beton dengan campuran *fly ash* juga dapat mereduksi energi dan biaya produksi (Li, 2011).

Evaluasi kualitas beton kondisi mengeras secara umum dapat dibagi menjadi dua metode, yaitu metode pengujian merusak (*destructive test*) dan pengujian tidak merusak (*non-destructive test*). Pengujian merusak dapat dilakukan di laboratorium. Pengujian tidak merusak berperan untuk memantau kinerja struktur

beton pada bangunan eksisting. Selain itu pengujian tidak merusak berfungsi untuk mengetahui kualitas beton pada bangunan eksisting di mana pengujian merusak sulit dilakukan. Pengujian tidak merusak sebaiknya disajikan dengan data pengujian merusak dari laboratorium sebagai verifikasi untuk memperkuat hasil (Widodo et al., 2021).

Pengujian kecepatan rambat gelombang ultrasonik (*Ultrasonic Pulse Velocity, UPV*) merupakan salah satu pengujian tidak merusak. Pengujian kecepatan gelombang ultrasonik dapat menjadi indikator untuk mengetahui homogenitas dan potensi retakan dalam beton (Chandra dan Christianto, 2019; Rahmayanti, 2019). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan penambahan serat botol PET berdasarkan pengujian karakteristik beton segar, kekuatan tekan, kecepatan rambat gelombang, dan modulus elastisitas dinamik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimental. Kegiatan penelitian dilakukan di Bengkel Beton dan Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Tahapan penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Material yang digunakan dalam pembuatan campuran beton antara lain: Pasir Progo; Kerikil Celereng dengan ukuran maksimum 20 mm; semen tipe I; *fly ash* hasil pembakaran batubara; kapur giling; air; serat plastik PET berukuran 35×0,25 mm; *superplasticizer* Sika Viscoflow 3660R; dan *retarder* berupa Sika Plastiment VZ. Material yang telah terkumpul kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristiknya. Dalam Tabel 1 disajikan karakteristik material yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Karakteristik material penyusun

Parameter pengujian	Nilai
Berat jenis agregat halus kondisi SSD	2,51
Kadar air agregat halus kondisi SSD, %	1,35
Bobot isi padat agregat halus (kg/m ³)	1410,00
Modulus Kehalusan Butir agregat halus	2,44
Berat jenis agregat kasar kondisi SSD	2,67
Kadar air agregat kasar kondisi SSD, %	1,23
Bobot isi padat agregat kasar (kg/m ³)	1400,00
Tingkat keausan agregat kasar, %	23,00
Modulus Kehalusan Butir agregat kasar	7,00
Berat jenis semen (gram/mL)	3,08
Berat jenis kapur mill (gram/mL)	2,68
Berat jenis <i>fly ash</i> (gram/mL)	2,72
Berat jenis plastik PET (gram/mL)	1,30
Berat jenis Sika Viscoflow 3660R (gram/mL)	1,07
Berat jenis Sika Plastiment VZ (gram/mL)	1,19



(a) Serat botol PET



(b) Fly ash

Gambar 1 Material limbah dalam campuran beton

Perhitungan rancang campur beton dilakukan berdasarkan metode yang dikembangkan Kheder dan Al Jadiri (2010) di mana metode tersebut mengacu pada standar ACI 211.1 (2002) dan EFNARC (2005) yang dimodifikasi dan saling dikombinasi. ACI 211.1 (2002) merupakan salah satu metode perhitungan untuk beton normal dan beton massa, sedangkan standar EFNARC (2005) merupakan salah satu acuan dalam menghitung rancang campur pada beton jenis *Self Compacting Concrete* maupun *high flow concrete*. Kuat tekan rencana (f'_{cr}) dalam penelitian ini sebesar 40 MPa. Persentase substitusi *fly ash* terhadap berat semen sebesar 0% dan 15%, sedangkan penambahan serat PET berdasarkan perbandingan fraksi volume matriks beton dengan serat dilakukan dengan persentase 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75%. Komposisi material untuk membuat 1 m³ beton disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 2 Varian benda uji

Nomor	Kode Varian	Fly Ash (%)	Serat Botol PET (%)	Jumlah Benda Uji
1	F00P00	0.00	0.00	5
2	F00P25	0.00	0.25	5
3	F00P50	0.00	0.50	5
4	F00P75	0.00	0.75	5
5	F15P00	15.00	0.00	5
6	F15P25	15.00	0.25	5
7	F15P50	15.00	0.50	5
8	F15P75	15.00	0.75	5
Total Benda Uji				40

Tabel 3 Komposisi material setiap varian

Material	Komposisi Material							
	F00P00	F00P25	F00P50	F00P75	F15P00	F15P25	F15P50	F15P75
Air (L/m ³)	171,5	171,5	171,5	171,5	171,5	171,5	171,5	171,5
Semen tipe I (kg/m ³)	398,8	398,8	398,8	398,8	339,0	339,0	339,0	339,0
Kapur mill (kg/m ³)	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8	123,8
Agregat kasar (kg/m ³)	779,0	779,0	779,0	779,0	779,0	779,0	779,0	779,0
Agregat halus (kg/m ³)	852,8	852,8	852,8	852,8	852,8	852,8	852,8	852,8
Sika Viscoflow 3660R (mL/m ³)	931,8	931,8	931,8	931,8	931,8	931,8	931,8	931,8
Sika Plastiment VZ (mL/m ³)	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7	502,7
Fly ash (kg/m ³)	-	-	-	-	59,8	59,8	59,8	59,8
Serat botol PET (kg/m ³)	-	3,3	6,5	9,8	-	3,3	6,5	9,8

Tahapan selanjutnya yaitu pembuatan benda uji. Benda uji dalam penelitian ini berupa silinder berukuran 150×300 mm. Setiap varian terdapat lima benda uji, sehingga total terdapat 40 benda uji. Proses pencampuran material dilakukan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*). Secara umum terdapat dua jenis pengujian, yaitu pengujian beton segar dan pengujian beton mengeras. Evaluasi beton segar meliputi pengujian *slump flow*, *T_{500 slump flow}*, dan *Visual Stability Index (VSI)*. Pengujian beton kondisi mengeras dilakukan saat beton mencapai umur 56 hari. Item pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan dan kecepatan rambat gelombang ultrasonik (*UPV test*).

Pengujian *slump flow* dilakukan dengan mengukur diameter sebaran beton dan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Slump flow} = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

d_1 = diameter terbesar sebaran beton (mm)

d_2 = diameter lingkaran tegak lurus dengan d_1 (mm)

Selain *slump flow*, pengujian beton segar juga meliputi pengujian *T_{500 slump flow}* dan *Visual Stability Index (VSI)*. *T_{500 slump flow}* merupakan waktu yang dibutuhkan beton untuk menyebar hingga diameter 500 mm. *VSI* merupakan evaluasi stabilitas campuran beton secara visual hal ini penting dilakukan mengingat penelitian ini menambahkan *fly ash* dan serat PET.



Gambar 2 Pengukuran diameter *slump flow*

Terdapat nomor indeks mulai dari 0 hingga 3. Menurut ASTM C 1611 (2018), beton dikatakan memiliki stabilitas campuran yang baik jika memiliki indeks 0 atau 1. Kriteria masing-masing indeks disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Kategori nilai *Visual Stability Index*

Indeks	Keterangan	Kriteria
0	Sangat stabil	Beton segar tidak mengalami segregasi atau <i>bleeding</i>
1	Stabil	Beton segar mengalami segregasi dan <i>bleeding</i> tipis yang terlihat seperti kilauan di permukaan
2	Tidak stabil	Beton segar mengalami sedikit segregasi dan/atau terjadi konsentrasi agregat di pusat lingkaran
3	Sangat tidak stabil	Beton segar mengalami segregasi secara jelas dan/atau terjadi konsentrasi agregat di pusat lingkaran

(ASTM C 1611, 2018)

Kuat tekan beton merupakan beban maksimum (P) yang mampu ditahan beton per satuan luas (A). Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974:2011.

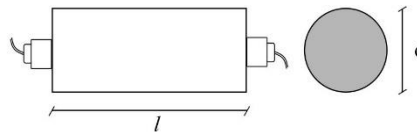
Sebelum proses pengujian dilakukan, silinder beton diukur diameter, tinggi, dan beratnya. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin uji tekan (*compression machine test*). Secara matematis nilai kuat tekan beton ditentukan berdasarkan Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Kerangan:

- σ = Kekuatan tekan beton (MPa)
- P = Gaya maksimum yang mampu ditahan beton (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm²)

Pengujian cepat rambat gelombang dilakukan dengan memanfaatkan alat *PUNDIT* (*Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester*). Prinsip pengujiannya yaitu gelombang dipancarkan oleh *transducer* dan diterima pada sisi satunya oleh *receiver*. Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan nilai cepat rambat, yaitu metode *direct*, *semi direct*, dan *indirect*. Pengujian *UPV* pada penelitian ini menggunakan metode *direct* hal ini karena metode *direct* cenderung menghasilkan nilai yang lebih akurat (Neville dan Brooks, 2010). Jika dibandingkan dengan metode lainnya, metode *direct* cenderung menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi (Andi et al., 2019). Secara matematis nilai cepat rambat gelombang dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.



Gambar 3 Pengujian UPV dengan metode *direct*

$$v = \frac{l}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

- v = Kecepatan rambat gelombang ultrasonik (m/detik)
- l = Jarak antara *transducer* dan *receiver* (m)
- t = Waktu pancar gelombang (detik)

Nilai kecepatan rambat gelombang tersebut dapat dikembangkan untuk mengetahui modulus elastisitas dinamik beton, namun terdapat data-data lain yang dibutuhkan untuk menghitung modulus elastisitas dinamik seperti rasio poisson dan massa jenis beton. Rasio poisson bernilai 0,26 untuk beton dengan kekuatan rendah, 0,23 untuk beton normal, dan 0,18 untuk *SCC* mutu tinggi (Yildirim dan Sengul, 2011). Pada penelitian ini rasio poisson bernilai 0,21. Menurut ASTM C 597-02 (2003), modulus elastisitas dinamik dapat dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$E_d = v^2 \frac{\rho (1+\mu) (1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad (4)$$

Keterangan:

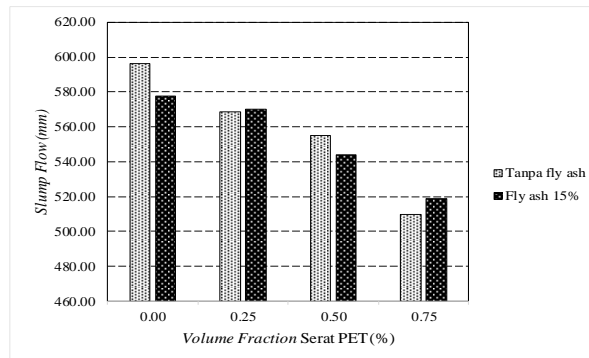
- E_d = Modulus elastisitas dinamik (MPa)
- v = Cepat rambat gelombang (km/s)
- ρ = Berat jenis beton (kg/m³)
- μ = Rasio poisson dinamik.

3. Hasil dan Pembahasan
3.1 Pengujian Beton Segar

Pengaruh serat botol PET dan *fly ash* dalam kondisi beton segar perlu diukur untuk mengetahui performa beton. Perbandingan hasil pengujian *slump flow*, T_{500} *slump flow*, dan *Visual Stability Index* disajikan dalam Tabel 5.

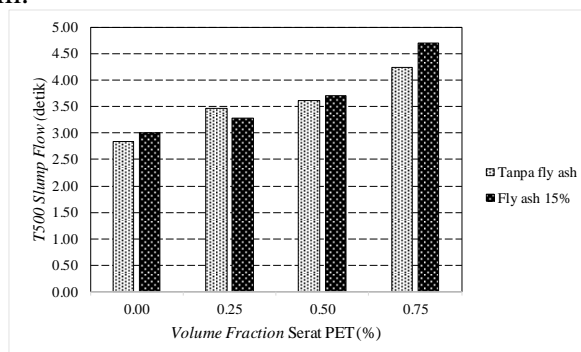
Tabel 5 Pengaruh serat PET dan *fly ash* terhadap karakteristik beton segar

Varian	Fly Ash (%)	Serat Botol PET (%)	Slump Flow (mm)	T_{500} Slump Flow (detik)	VSI
F00P00	0.00	0.00	596.25	2.84	0
F00P25	0.00	0.25	568.75	3.48	0
F00P50	0.00	0.50	555.00	3.62	1
F00P75	0.00	0.75	510.00	4.25	2
F15P00	15.00	0.00	577.50	3.00	0
F15P25	15.00	0.25	570.00	3.28	0
F15P50	15.00	0.50	543.75	3.70	1
F15P75	15.00	0.75	518.75	4.70	2



Gambar 4 Serat PET dan *fly ash* terhadap nilai *slump flow* SCC

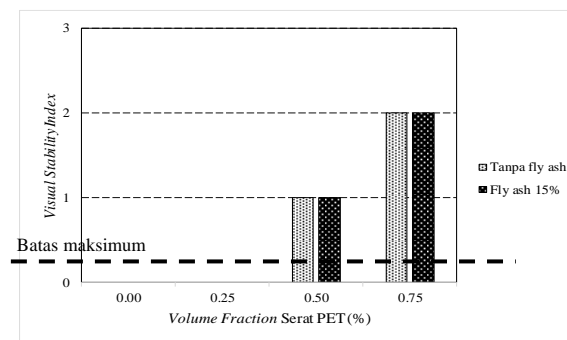
Pengujian *slump flow* bertujuan untuk mengukur *flowability* campuran beton jenis SCC. Tabel 5 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin banyak persentase serat PET yang ditambahkan akan menurunkan nilai *slump flow*. Di sisi lain, penggantian parsial semen dengan 15% *fly ash* juga menurunkan *flowability*. Walaupun mengalami penurunan, nilai *slump flow* seluruh varian masih di atas persyaratan minimal yang ditentukan ASTM C 1611 (2018), yaitu sebesar 20 inch atau setara 500 mm.



Gambar 5 Serat PET dan *fly ash* terhadap nilai T_{500} *slump flow* SCC

T_{500} slump flow merupakan pengujian untuk mengukur *viscosity* SCC. Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 5, diketahui bahwa nilai T_{500} berbanding lurus dengan persentase penambahan serat PET. Selain itu, kandungan *fly ash* dalam campuran beton cenderung menyebabkan nilai T_{500} lebih tinggi dibanding beton tanpa *fly ash*. Nilai T_{500} yang ditentukan oleh ASTM C 1611 (2018) yaitu berkisar 2-8 detik, sehingga seluruh varian dalam pengujian ini masih memenuhi standar tersebut.

Hasil pemeriksaan stabilitas campuran secara visual pada Tabel 5 dan Gambar 6 memperlihatkan bahwa indeks *VSI* cenderung meningkat seiring dengan persentase serat PET yang ditambahkan. Campuran beton dengan kadar serat 0% dan 0,25% masih memiliki stabilitas cukup baik. Indeks stabilitas meningkat menjadi 1 namun masih memenuhi standar ASTM C 1611 (2018) saat serat ditambahkan sebesar 0,50%. Stabilitas beton semakin menurun saat persentase serat yang ditambahkan sebesar 0,75%, hal ini terlihat dari indeks stabilitas yang bernilai 2, melebihi indeks maksimum sebesar 1.



Gambar 6 Serat PET dan *fly ash* terhadap nilai *Visual Stability Index* SCC

Berdasarkan tiga pengujian beton segar yang telah dijelaskan di atas, diketahui bahwa penambahan serat PET menyebabkan penurunan kemampuan beton dalam mengalir. Selain itu penambahan serat PET yang semakin banyak membuat risiko terjadinya segregasi semakin tinggi. Potensi segregasi terlihat dari indeks *VSI* yang semakin besar seiring dengan banyaknya serat PET yang ditambahkan. Penambahan serat PET perlu dilakukan secara terkontrol agar performa beton tetap baik (Raju et al., 2014).

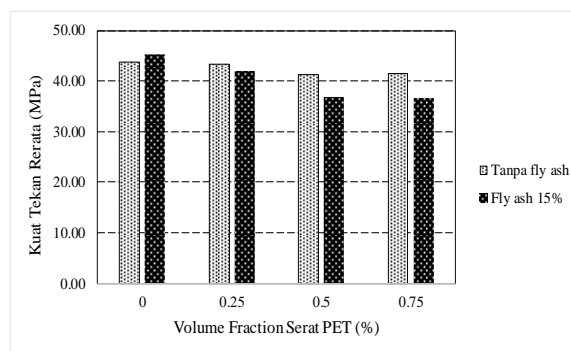
Penambahan *fly ash* pada SCC juga menyebabkan *workability* menurun dan *viscosity* beton meningkat hal tersebut berdasarkan nilai *slump flow* dan T_{500} *slump flow* pada Gambar 4 dan 5. *Fly ash* merupakan material yang cukup baik dalam menyerap air (Takim et al., 2016). Penambahan *fly ash* dalam beton menyebabkan kekentalan beton meningkat karena berkurangnya air akibat diserap *fly ash*.

3.2 Pengujian Beton Kondisi Mengeras

Pengujian beton kondisi mengeras dilakukan saat beton mencapai umur 56 hari meliputi pengujian kuat tekan dan kecepatan gelombang ultrasonik. Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan beton, sedangkan pengujian kecepatan gelombang ultrasonik menggunakan alat PUNDIT dan dilakukan sebelum uji kuat tekan beton. Hasil pengujian beton kondisi mengeras disajikan dalam Tabel 6.

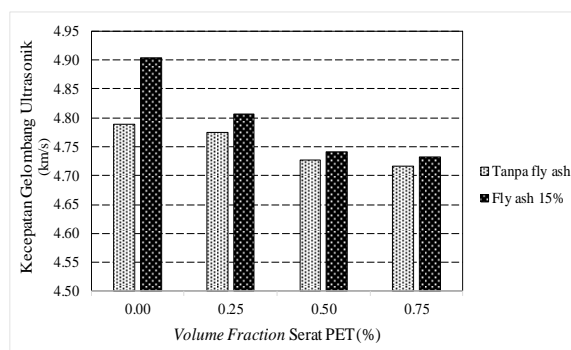
Tabel 6 Serat PET dan *fly ash* terhadap karakteristik beton mengeras

Varian	Fly Ash (%)	Serat Botol PET (%)	Berat Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Kecepatan Gelombang Ultrasonik (km/s)	Modulus Elastisitas Dinamik (MPa)
F00P00	0.00	0.00	2339.58	43.71	4.790	47671.91
F00P25	0.00	0.25	2426.61	43.24	4.775	49141.87
F00P50	0.00	0.50	2412.35	41.21	4.727	47879.30
F00P75	0.00	0.75	2390.61	41.42	4.717	47258.67
F15P00	15.00	0.00	2391.45	45.27	4.904	51099.79
F15P25	15.00	0.25	2379.18	41.90	4.806	48850.55
F15P50	15.00	0.50	2353.43	36.83	4.742	46962.35
F15P75	15.00	0.75	2351.34	36.70	4.732	46765.64

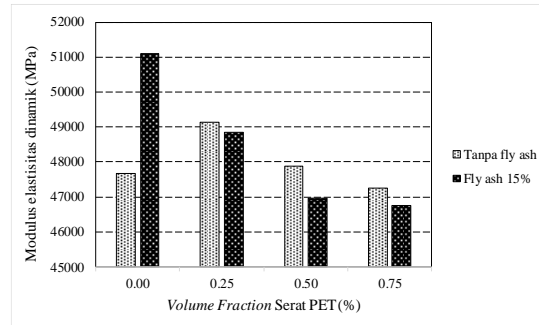
Gambar 7 Serat PET dan *fly ash* terhadap kuat tekan SCC

Rerata hasil pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 7. Semakin banyak persentase serat PET yang ditambahkan maka kekuatan beton cenderung menurun. Penambahan *fly ash* dengan kandungan serat PET 0% (F15P00) menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dibanding beton tanpa *fly ash* (F00P00) namun saat serat PET mulai ditambahkan, kekuatan beton dengan kandungan *fly ash* lebih rendah daripada beton tanpa *fly ash*.

Hasil pengujian kecepatan gelombang ultrasonik pada Tabel 6 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa penambahan serat PET membuat kecepatan gelombang ultrasonik secara konsisten mengalami penurunan. Kecepatan tertinggi terjadi pada varian F15P00 sebesar 4,904 km/s. Varian beton dengan campuran *fly ash* 15% memiliki kecepatan rambat yang lebih tinggi dibanding varian SCC tanpa *fly ash*.

Gambar 8 Serat PET dan *fly ash* terhadap kecepatan gelombang ultrasonik SCC

Modulus elastisitas dinamik dihitung menggunakan Persamaan 4. Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 9. Penambahan serat PET dalam beton cenderung menyebabkan penurunan modulus elastisitas dinamik seperti yang ada dalam Gambar 9. Tren penurunan tersebut cenderung sama seperti yang terjadi pada pengujian kuat tekan dan kecepatan gelombang ultrasonik.



Gambar 9. Serat PET dan *fly ash* terhadap modulus elastisitas dinamik SCC

Berdasarkan pengujian beton pada kondisi mengeras yang telah diuraikan di atas dapat diketahui bahwa kekuatan beton semakin menurun seiring dengan penambahan serat PET yang semakin banyak. Hasil penelitian Nibudey *et al.* (2013) juga menyebutkan bahwa penambahan serat PET dapat menghambat kinerja beton. Hal ini diperkuat dengan hasil pemeriksaan VSI pada Gambar 6 yang memperlihatkan bahwa penambahan serat PET secara bertahap hingga 0,75% menyebabkan ketidakstabilan campuran beton segar.

Pengujian *UPV* dilakukan lima kali setiap benda uji untuk mendapatkan hasil yang akurat. Rerata hasil pengujian *UPV* disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 8. Kecepatan gelombang ultrasonik seluruh varian $>4,5$ km/s dan termasuk dalam kategori sangat baik. Kecepatan gelombang ultrasonik beton dengan kandungan *fly ash* 15% menunjukkan hasil lebih tinggi dibanding beton tanpa *fly ash* hal tersebut karena butiran *fly ash* mampu mengisi rongga dalam beton sehingga homogenitas beton menjadi lebih baik dibanding beton tanpa *fly ash*.

Hasil pengujian *UPV* kemudian dikembangkan untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dinamik. Nilai modulus elastisitas dinamik pada Gambar 9 cenderung memiliki tren penurunan seperti hasil uji kuat tekan beton pada Gambar 7. Penambahan serat PET berpotensi menghambat kinerja beton, dalam Gambar 7 dan 9 terlihat bahwa campuran beton tanpa serat PET dengan kandungan *fly ash* 15% (F15P00) memiliki kekuatan dan modulus elastisitas dinamik lebih tinggi dibanding beton varian F00P00. Namun setelah serat PET ditambahkan mulai dari 0,25%; 0,50%; hingga 0,75%, kekuatan beton dengan campuran *fly ash* 15% lebih rendah dibanding beton tanpa *fly ash*.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penambahan serat botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan persentase 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75% serta penggantian sebagian semen dengan *fly ash* sebesar 0% dan 15% menyebabkan penurunan kualitas beton segar hal ini terlihat dari hasil pengujian *slump flow* menurun, waktu alir meningkat, dan stabilitas

campuran beton menurun seiring dengan serat PET yang ditambahkan secara bertahap dalam beton.

Pada pengujian beton kondisi mengeras, penambahan serat PET secara konsisten cenderung menyebabkan penurunan kuat tekan, kecepatan gelombang ultrasonik, dan modulus elastisitas dinamik. Rerata kuat tekan varian F15P50 dan F15P75 berada di bawah kuat tekan target sebesar 40 MPa. Rekomendasi persentase penambahan serat PET pada campuran beton tanpa *fly ash* yaitu sebesar 0,50%, sedangkan pada campuran dengan *fly ash* yaitu sebesar 0,25%.

4.2 Saran

Berdasarkan pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, bagi peneliti lainnya selanjutnya diharapkan dapat meneliti variasi aspek rasio serat PET yang dapat menghasilkan beton dengan kualitas optimal. Selain itu perlu adanya kajian mengenai durabilitas serat plastik PET dalam campuran beton. Penelitian lebih lanjut tentang upaya produksi beton dengan memanfaatkan serat plastik jenis lain juga perlu dilakukan dalam rangka pengembangan beton ramah lingkungan.

Daftar Kepustakaan

- ACI 211.1, 2002. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. ACI Comitte, New York.
- Andi, M., Baehaki, Khadafi, D.A., 2019. Correlation of reinforcement concrete quality based on variations in UPV testing methods. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. hal. 1–7.
- Apriliya, R., Bahar, S.B., Sayfullah, M., 2021. Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Bahan Tambah Botol Plastik Kemasan Air Mineral Jenis Polyethylene Terephthalate (PET). SCEJ (Shell Civil Engineering Journal) 6, 39–45.
- ASTM C 1611, 2018. Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, ASTM. American Standard Testing Method, New York.
- ASTM C 597-02, 2003. Pulse Velocity Through Concrete, United States: American Society for Testing and Material. American Standard Testing Method, New York.
- Budi, A.S., Safitri, E., Annisaa, T., 2021. Kajian Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Kuat Lekat Dan Kuat Tarik Beton Memadat Sendiri Terhadap Beton Normal. Matriks Teknik Sipil 9, 163.
- Chandra, D., Christianto, D., 2019. Hubungan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik Terhadap Mutu Beton Tanpa Agregat Kasar. JMITS: Jurnal Mitra Teknik Sipil 2, 199.
- EFNARC, 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, The European Guidelines for Self Compacting Concrete.
- Ihsannudin, Ping, Z.S., 2020. Sampah Plastik, Laut Tercemar, dan Target SDGs [WWW Document]. Mongabay. URL <https://www.mongabay.co.id/2020/03/03/sampah-plastik-laut-tercemar-dan-target-sdgs/> (diakses 6.26.22).

- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.
- Kheder, G.F., Al Jadiri, R.S., 2010. New method for proportioning self-consolidating concrete based on compressive strength requirements. *ACI Materials Journal* 107, 490–497.
- Li, Z., 2011. *Advanced Concrete Technology*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Memon, M.A., Memon, N.A., Memon, A.H., Bhanbhro, R., Lashari, M.H., 2020. Flow Assessment of Self-Compacted Concrete incorporating Fly Ash. *Engineering, Technology & Applied Science Research* 10, 5392–5395.
- Neville, A.M., Brooks, J.J., 2010. *Concrete Technology*, 2nd ed, Concrete Technology. Pearson, Edinburgh.
- Nibudey, R.N., Nagarnaik, P.B., Parbat, D.K., Pande, & A.M., 2013. Strength and Fracture Properties of Post Consumed Waste Plastic Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development* 3, 9–16.
- Rahmayanti, N., 2019. Pengaruh Penggunaan Limbah Abu Sekam Padi dan Viscocrete 1003 Terhadap Kualitas Beton Normal dengan UPV Test. *Teras Jurnal* 8, 434–443.
- Raju, Kausik, R., Sharma, T., 2014. Effect of PET Fibres Different Aspect Ratio on Fresh and Mechanical Properties of Cement Concrete. In: *Young Graduate Research Symposium*. hal. 3–6.
- Takim, Naibaho, A., Ningrum, D., 2016. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air pada Mortar. *Jurnal Reka Buana* 1, 91–100.
- Widodo, S., Pramudiyanto, P., Sumiyanto, J., 2021. The Study of Concrete Mixture Performance to Support the Non-Destructive Testing Evaluation The Study of Concrete Mixture Performance to Support the Non-Destructive Testing Evaluation. In: *3rd International Conference on Sustainable Infrastructure*. IOP Publishing, hal. 1–6.
- Yildirim, H., Sengul, O., 2011. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. *Construction and Building Materials* 25, 1645–1652.