

NILAI KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN KUAT LENTUR PADA BETON BERAGREGAT KASAR PET DENGAN PENAMBAHAN SILICA FUME DAN SERAT BAJA SEBAGAI BAHAN PANEL DINDING

Kartika Kushendrahayu¹⁾, Achmad Basuki²⁾, Edy Purwanto³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾ ³⁾ Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069. Email : kartika.kushendrahayu@gmail.com

Abstract

Polyethylene Terephthalate (PET) is one of the polymeric materials (plastics) that is widely used as a beverage product packaging. However, as the population increase more plastic waste is generated. Other usage of PET is as an additive ingredient or substitute materials in the concrete due to its light weight and not easily deformed, this is then suitable to be applied in buildings in Indonesia that are often hit by earthquake. This research is a continuation research of the PET usage as a coarse aggregate with the addition of silica fume and steel fibers. The specific objective of this research is to find out the compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength of concrete using coarse aggregate of plastic PET with the addition of silica fume and steel fibers. The method used is experimental method where concrete material is designed using Dreux-Corrise since it employed artificial aggregate PET for producing lightweight aggregate concrete. The percentage of silica fume is 10% by weight of cement and steel fibers used are 3D dramix fiber with *end hooked* types, aspect ratio (l/d) 65 as big as 10 kg/m³ in following the manufacturer's specifications in fiber dosage as stated on its packaging. There are two groups of specimens, group for compressive and splitting tensile strength test consists of 3 pieces cylinder shape with dimension of 7,5 cm of diameter and 15 cm by high. Group for flexural strength test consists of 3 pieces shape with dimension 50x30x3 cm. All samples are tested in 28 days. The results show that the coarse aggregate of concrete using plastic PET with the addition of silica fume and steel fiber is still relatively in range of lightweight concrete according to SKSNI 03-2847-2002 where its specific gravity is less than 1900 kg/m³. The specific gravity of compressive and splitting tensile strength test specimen are 1834,568 kg/m³ and 1830,384 kg/m³ respectively. The average compressive strength is 13,394 MPa, while the average splitting tensile strength is 1,457 MPa, and the average flexural strength is 2,370 MPa. This results show that the addition of silica fume and dramix fibers can increase the strength of concrete and increase the bond between the cement paste with aggregate.

Keywords : Coarse aggregate of plastic PET, lightweight concrete, Dreux- Corrise method, silica fume, dramix fibers.

Abstrak

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan salah satu bahan polimer (plastik) yang banyak digunakan oleh masyarakat sebagai kemasan produk minuman. Tetapi, seiring perkembangan jumlah penduduk mengakibatkan semakin banyak pula limbah plastik yang dihasilkan. Pemanfaatan *PET* lainnya yaitu sebagai bahan tambah atau bahan pengganti dalam beton karena mempunyai berat yang ringan dan tidak mudah berubah bentuk, sehingga cocok diterapkan pada bangunan di Indonesia yang sering terjadi gempa. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan pemanfaatan *PET* sebagai agregat kasar dengan penambahan *silica fume* dan serat baja yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton menggunakan agregat kasar dari plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* dan serat baja. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan metode rancang beton menggunakan metode *Dreux-Corrise* karena penggunaan agregat ringan dari agregat buatan *PET*. Persentase *silica fume* yang digunakan sebesar 10% dari berat semen dan serat baja yang digunakan adalah serat dramix 3D tipe *end hooked*, aspek rasio (l/d) yaitu 65 sebesar 10 kg/m³ sesuai dengan spesifikasi pabrik dalam aturan pemakaian serat yang tertera pada kemasan dramix. Benda uji terdiri dari 2 bentuk dengan ukuran yang berbeda, yaitu silinder berukuran diameter 7,5 cm tinggi 15 cm sebanyak 6 buah yaitu 3 buah untuk uji kuat tekan dan 3 buah untuk uji kuat tarik belah. Sedangkan untuk uji kuat lentur menggunakan benda uji panel berukuran 50x30x3 cm sebanyak 3 buah. Pengujian dilaksanakan pada saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton menggunakan agregat kasar dari plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* dan serat baja masih tergolong beton ringan menurut SKSNI 03-2847-2002 yaitu kurang dari 1900 kg/m³ dengan berat jenis rata-rata untuk benda uji kuat tekan sebesar 1834,568 kg/m³ dan benda uji kuat tarik belah sebesar 1830,384 kg/m³. Nilai rata-rata kuat tekan sebesar 13,394 MPa. Sedangkan nilai rata-rata kuat tarik belah yang dihasilkan adalah 1,457 MPa. Nilai rata-rata kuat lentur yang dihasilkan sebesar 2,370 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan *silica fume* dan serat dramix dapat meningkatkan kekuatan beton serta menambah ikatan antara pasta semen dengan agregat.

Kata Kunci: Agregat kasar limbah plastik *PET*, beton ringan, metode *Dreux-Corrise*, *silica fume*, serat dramix.

PENDAHULUAN

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan salah satu bahan polimer (plastik) yang banyak digunakan oleh masyarakat sebagai kemasan produk minuman. Limbah plastik ini merupakan bahan anorganik yang sulit diuraikan secara alami sehingga hanya digunakan sebagai bahan kerajinan. Pemanfaatan lain sebagai bahan tambah atau bahan pengganti dalam campuran beton merupakan suatu cara untuk mengurangi permasalahan limbah plastik yang belum bisa teratasi dengan baik sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Selain itu penggunaan dinding beton pada bangunan bertingkat menjadi salah satu penyebab penggunaan beton ringan dari agregat ringan yang menghasilkan porositas yang tinggi sehingga mempunyai berat jenis yang rendah dan mengurangi berat sendiri struktur gedung tersebut. Agregat ringan ini dapat berasal dari pengolahan limbah plastik *PET*. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian Pitra tahun 2014 yaitu dengan pemanfaatan *PET* sebagai agregat kasar dengan menambahkan *silica fume* dan serat baja pada campuran beton untuk meningkatkan hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur yang masih rendah pada penelitian sebelumnya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton dengan penambahan *silica fume* dan serat baja pada beton. Hal ini dikarenakan butiran *silica fume* dapat bereaksi lebih cepat, serta menambah ikatan antara agregat dengan pasta semen menjadi lebih besar sehingga retak-retak awal pada saat pembebanan menjadi terhambat karena serat baja memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang relatif tinggi serta tidak mengalami perubahan bentuk terhadap pengaruh alkali dalam semen.

Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat ringan yang memiliki berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m^3 atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari $17,2 \text{ MPa}$ (ACI-318). Sedangkan bobot maksimal beton ringan berdasarkan syarat SKSNI 03-2847-2002 yaitu 1900 kg/m^3 . Semakin baik mutu suatu agregat ringan, akan dihasilkan rasio kekuatan beton ringan dengan berat isinya yang semakin tinggi. Pada penelitian ini menggunakan agregat ringan buatan dari limbah plastik *PET* dengan ukuran butiran maksimal 14 mm. Namun, penggunaan beton ringan juga disesuaikan dengan kepadatan dan kekuatannya sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kepadatan beton ringan.

No.	Kategori Beton Ringan	Berat Isi Beton (Kg/m^3)	Tipikal Kuat Tekan Beton (MPa)	Tipikal Aplikasi
1.	Non Struktural	300-1100	<7	<i>Insulating Material</i>
2.	Non Struktural	1100-1600	7-14	<i>Unit Masonry</i>
3.	Struktural	1450-1900	17-35	Struktural
4.	Struktural	2100-2550	20-40	Struktural

Sumber: Ringkasan (J Francis Young, 1972; hal 242 dalam Ika Mutianati, 2010)

Limbah Plastik *PET*

Menurut Suharto (2010), *Polyethylene Terephthalate (PET)* merupakan bahan dasar dari botol minuman plastik, dengan nama IUPAC-nya *polioksi etilen neooksitereftaloil* dan memiliki rumus molekul $(-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-)_n$. Proses pembuatan *PET* memerlukan suhu yang sangat tinggi di atas 100°C untuk produk yang secara komersial memiliki kemampuan kristalisasi cepat. Material ini memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap pelarut yang bagus, dan stabilisasi hidrolitiknya baik (Ehrig, 1993).

Serat Baja

Ide dasar penambahan serat adalah memberikan tulangan serat pada beton yang disebar merata secara acak (*random*) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan (Sudarmoko,1990) dan menambah kuat tarik beton. Pada penelitian ini menggunakan serat dramix 3D tipe *end hooked* yang dengan kuat tarik sebesar 1345 N/mm^2 dan Modulus Young sebesar 210.000 N/mm^2 . Jenis serat baja (*steel fiber*) memiliki diameter (d) 0,55 mm, panjang (l) 35 mm, dan aspek rasio (l/d) yaitu 65.

Silica Fume

Menurut standar “*Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cemen Concrete and Mortar*” (ASTM.C. 1240,1995:637-642) *silica fume* atau silika *fume* adalah material pozzollan yang halus, dimana komposisi silika lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau *alloy* besi silikon (dikenal sebagai gabungan antara *microsilica* dengan *silica fume*). Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton adalah untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. *Silica fume* yang digunakan penelitian ini adalah 1% dari berat semen.

Superplasticizer

Superplasticizer sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai *slump* yang tinggi dan mengurangi jumlah air yang dipakai, untuk mendapatkan *workability (flowing concrete)* yang baik. Selain itu, dapat meningkatkan kelecakan beton lebih lama pada waktu yang tinggi. Pada penelitian ini, *superplasticizer* yang digunakan yaitu Sika *Viscocrete-10*.

Panel Dinding

Panel beton adalah beton yang telah dibuat dengan bentuk sesuai cetakan seperti pelat. Untuk mengurangi jumlah pori dalam suatu cetakan panel beton dapat dilakukan dengan cara mengisi ruang pori menggunakan material atau agregat yang lebih kecil (Pitra,2014), sehingga ukuran maksimumnya agregat *PET* adalah 14 mm.

Kuat Tekan Beton (f_c)

Kuat tekan beton menurut SNI 03-1974-1990 adalah besarnya beban persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan [1]:

$$f_c = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

f_c = Kuat tekan (N/mm^2)

P = beban tekan maksimum (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm^2)

Kuat Tarik Belah (f_t)

Kuat tarik menjadi bagian penting dalam beton untuk menahan retak-retak akibat kadar air dan suhu sehingga berpengaruh terhadap kemampuan beton di dalam mengatasi retak awal sebelum dibebani. Secara kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya dan dapat dihitung dengan Persamaan [2].

$$f_t = \frac{2P}{\pi ld} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan :

f_t = kuat tarik belah (N/mm^2)

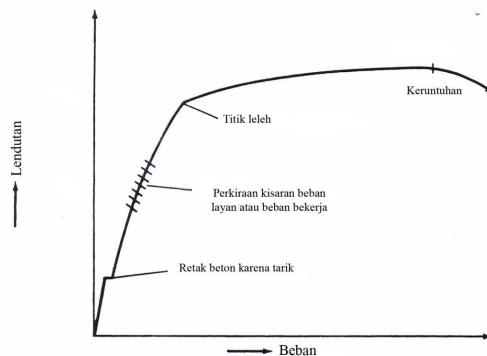
P = beban pada waktu beton terbelah (N)

l = Panjang benda uji silinder (mm)

d = diameter benda uji silinder (mm)

Penentuan Titik Leleh

Titik leleh adalah titik dimana terjadinya perubahan gradien dari miring menjadi hampir mendatar pada diagram hubungan beban dan lendutan pada beton bertulang. Berdasarkan Gambar 1., tahapan pertama diagram adalah regangan yang terjadi masih kecil sehingga diagram hampir vertikal. Setelah itu kemiringan diagram akan sedikit berkurang karena beton tidak cukup kaku seperti pada tahap awal sebelum beton mulai retak. Setelah itu, diagram akan mengalami perubahan gradien dari miring menjadi hampir lurus mendatar. Agar beton bertulang mengalami leleh, diperlukan beban tambahan yang cukup besar untuk meningkatkan lendutan beton bertulang. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram momen-kurva untuk balok beton bertulang yang mengalami tarik (sumber: J.C. McCormac, *Desain Beton Bertulang*)

Kuat Lentur

Menurut Edward (1990), lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Pengujian ini menggunakan standar SNI 03-6861.1-2002 dan ASTM C-78, yaitu pengujian kuat tarik lentur dengan beban terbagi dua yang bekerja pada suatu penampang balok dengan titik yang menjadi 3 bagian. Besarnya kuat lentur beton untuk pengujian dengan penempatan dua titik beban dapat dihitung dengan Persamaan [3].

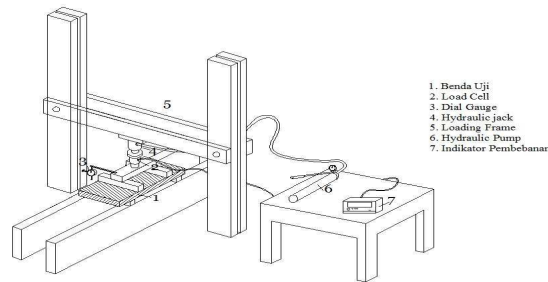
$$\sigma_1 = \frac{P l}{b h^2} \dots\dots\dots [3]$$

keterangan:

- σ_1 = Kuat lentur atau *modulus of rupture* (MPa)
- P = Beban yang diberikan pada balok benda uji (N)
- l = Panjang bentang (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian bahan, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah adalah silinder berukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm, serta benda uji panel untuk uji kuat lentur sebesar 50x30x3 cm dengan *setting up* pengujian kuat lentur seperti Gambar 2.



Gambar 2. *Setting* pengujian benda uji lentur

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terbagi menjadi empat bagian utama antara lain :

a. Tahap Persiapan dan Pengujian Bahan

Pada tahap persiapan dilakukan pembuatan agregat kasar dari limbah plastik *PET*. Beberapa langkah pembuatan agregat *PET* antara lain memotong limbah plastik *PET* menjadi 1/3 bagian dari panjangnya kemudian mencucinya hingga bersih. Setelah itu melelehkan limbah plastik *PET* dengan wajan pada suhu tinggi disertai pengadukan secara terus-menerus pada adukan agar menghasilkan adukan yang seragam dan tidak menghasilkan banyak gelembung udara. Menuangkan dan mendinginkan adukan *PET* tersebut dalam sebuah cetakan, kemudian melakukan pemecahan hasil cetakan sesuai ukuran agregat yang dibutuhkan. Pada pengujian bahan dilakukan pengujian agregat halus dan kasar. Pengujian agregat halus yang dilakukan yaitu kandungan zat organik, kandungan lumpur, *specific gravity*, dan gradasi. Sedangkan uji agregat kasar yaitu *specific gravity*, gradasi dan abrasi.

b. Perhitungan rancang campuran adukan beton *PET*

Metode yang digunakan adalah metode *Dreux-Corrive*, dikarenakan agregat kasar yang dipakai termasuk agregat ringan, karena memiliki berat jenis yang kurang dari berat jenis agregat normal. Hasil perhitungan kebutuhan bahan dapat ditunjukkan Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan berat material untuk setiap 1 m³

Berat (kg)						
Semen	Air	Pasir	<i>PET</i>	<i>Silica fume</i>	Serat	<i>Viscocrete-10</i>
345,000	188,182	633,983	498,955	34,500	10,000	1,882

Pembuatan benda uji yang dilakukan antara lain menyiapkan dan menimbang bahan campuran adukan beton. Mencampur agregat halus, *silica fume* dengan semen dan air sebanyak 1/2 volume air kemudian mengaduknya hingga homogen. Memasukkan agregat kasar *PET* dan *superplasticizer* berupa Sika *Viscocrete* dalam campuran tersebut disertai penambahan air sebanyak 1/2 volume air. Langkah selanjutnya menyebarkan serat dramix di atas adukan beton kemudian mengaduknya kembali sampai tercampur homogen.

c. Perawatan dan pengujian benda uji

Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam bak air selama 27 hari. Setelah benda uji direndam selama 27 hari, benda uji diangkat untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

d. Pembahasan dan analisis data hasil pengujian.

Analisis data hasil pengujian dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini meliputi pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Pada hasil pengujian berat jenis beton pada benda uji kuat tekan memiliki nilai rata-rata sebesar $1834,568 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan pada benda uji kuat tarik tekan memiliki nilai rata-rata sebesar $1830,384 \text{ kg/m}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis beton memenuhi syarat berdasarkan SKSNI 03-2847-2002 yaitu tidak lebih dari 1900 kg/m^3 . Sedangkan nilai *slump* yang dihasilkan pada benda uji kuat tekan dan kuat tarik belah sebesar 12 cm dan pada benda uji kuat lentur sebesar 10 cm. Hal ini berarti sesuai dengan nilai *slump* rencana yaitu $12 \pm 2 \text{ cm}$.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian ini kuat tekan dapat disajikan pada Tabel 3., berikut:

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan

Kode	Beban (N)	f_c (MPa)	f_{cr} (MPa)
TK 1	60000	12,997	
TK 2	65000	13,959	13,394
TK 3	60000	13,226	

Berdasarkan Tabel 3. dapat terlihat bahwa hasil uji kuat tekan pada penelitian sebesar 13,394 MPa. Hasil uji kuat tekan terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil uji kuat tekan umur 28 hari

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tarik belah dapat disajikan pada Tabel 4., dan Gambar 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tarik belah

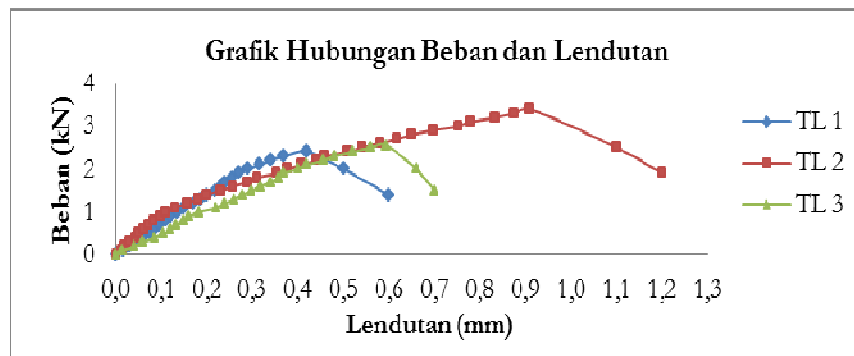
Kode	Beban (N)	f_t (MPa)	f_{tr} (MPa)
TR 1	25000	1,360	
TR 2	25000	1,369	1,457
TR 3	30000	1,643	



Gambar 4. Hasil uji kuat tekan umur 28 hari

Hasil Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan hubungan beban dan lendutan maka dapat mengetahui penentuan titik awal retak (*crack*), titik leleh (*yield*), titik puncak (*peak*) dan titik runtuh (*failure*) dengan cara melakukan penggambaran grafik seperti pada Gambar 5., kemudian mencari titik perpindahan gradien pada grafik dengan membuat garis bantu lurus yang ditarik pada grafik. Penentuan *crack*, *yield*, *peak* dan *failure* 3 benda uji dapat diperjelas menggunakan Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan *crack*, *yield*, *peak* dan *failure* 3 benda uji

Nilai beban dan lenturan yang didapat dari Gambar 5. dapat juga dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Awal retak, titik leleh dan beban maksimum benda uji kuat lentur

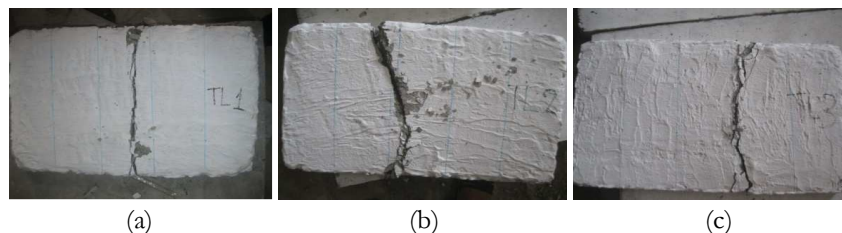
Benda uji	<i>Crack</i>		<i>Yield</i>		<i>Peak</i>		<i>Failure</i>		P_{peak} rata-rata (kN)	$\Delta_{failure}$ rata-rata (mm)
	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)		
TL 1	1.00	0.14	2.00	0.29	2.40	0.42	1.40	0.60		
TL 2	1.10	0.13	2.30	0.46	3.40	0.91	1.90	1.20	2.783	0.833
TL 3	1.00	0.18	2.10	0.42	2.55	0.59	1.50	0.70		

Berdasarkan tabel di atas maka beban maksimum yang digunakan dalam perhitungan uji kuat lentur adalah pada saat kondisi *yield* (leleh), dikarenakan benda uji masih dapat menerima beban lebih besar lagi sehingga masih memiliki angka keamanan sebelum mengalami *failure* atau patah akibat beban maksimum. Hasil pengujian kuat lentur dapat terlihat pada Tabel 6., berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian kuat lentur

Kode	Beban (N)	σ_1 (MPa)	σ_1 (MPa)
TL 1	2000	2,222	
TL 2	2300	2,556	2,370
TL 3	2100	2,333	

Berdasarkan Tabel 6. dapat terlihat bahwa hasil uji kuat lentur pada penelitian ini sebesar 2,370 MPa. Nilai kuat lentur ini disebabkan oleh adanya serat baja yang disebar secara merata pada saat pencampuran beton sehingga ikatan antara agregat dengan pasta semen menjadi lebih besar sehingga retak-retak awal pada saat pembebanan dapat dihambat oleh serat tersebut. Hasil uji kuat lentur dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji kuat tarik lentur umur 28 hari dengan kode benda uji (a) TL 1, (b) TL 2, (c), dan TL 3

SIMPULAN

Kesimpulan dari hasil pengujian dan analisis beton ringan dengan pemanfaatan limbah *PET* sebagai agregat kasar serta penambahan *silica fume* dan serat baja adalah sebagai berikut :

- Nilai kuat tekan yang dihasilkan dari beton menggunakan agregat kasar dari plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* dan serat baja memiliki nilai rata-rata sebesar 13,394 MPa.
- Nilai kuat tarik belah yang dihasilkan dari beton menggunakan agregat kasar dari plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* dan serat baja memiliki nilai rata-rata sebesar 1,457 MPa.

- c. Nilai kuat lentur yang dihasilkan dari beton menggunakan agregat kasar dari plastik PET dengan penambahan *silica fume* dan serat baja memiliki nilai rata-rata sebesar 2,370 MPa.
- d. Penambahan *silica fume* dan serat baja dramix dapat meningkatkan kekuatan beton serta ikatan antara pasta semen dengan agregat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesaiannya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua dan kedua kakak penulis Putri dan Bagus, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Achmad Basuki, ST, MT dan Edy Purwanto, ST, MT selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya Ade Dewangga, Mawid Dwi Sistra serta mahasiswa sipil UNS 2011.

REFERENSI

- ACI Committee 544. 1996. *Fiber Reinforced Concrete*. Michigan: ACI International Michigan.
- Alamsyah. 2008. *Pengaruh Superplasticizer Terhadap Beton Pasir Serat Kawat Bendrat 60 mm*. Riau: Politeknik Bengkalis.
- American Society For Testing and Material. 1918. *Concrete Material Aggregates (Including Manual of Aggregates and Concrete Testing)*. Philadelphia: ASTM.
- Ardhiantika, Pitra. 2014. *Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik, Kuat Lentur, dan Redaman Bunyi pada Panel Dinding dengan Agregat Limbah Plastik PET*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- ASTM C364-99, *Standard Test Methode for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Construction*.
- ASTM C393-00, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Construction*.
- Badan Satandarasi Nasional. 2004. *Semen Portland SNI 15-2049*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewangga, Ade. 2013. *Pengaruh Penambahan Fly-Ash pada Campuran Beton terhadap Kinerja Hubungan Balok Kolom dengan Pembebanan Statik (Umur Beton 90 Hari)*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Dwisetyowati, Shinta. 2008. *Studi Sifat-Sifat Mekanis Beton yang Menggunakan Agregat Kasar dari Plastik Jenis Polyethylen Terephthalate (PET)*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Gill Corp, M. C. 1997. *Simplified Sandwich Panel Design*. El Monte: The M.C. Gill Doorway.
- Lestario, Bambang Mahendya. 2008. *Penggunaan Limbah Botol Plastik (PET) sebagai Campuran Beton untuk Meningkatkan Kapasitas Tarik Belah dan Geser*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- McCormac. 2000. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Murdock, L.J dan K.M.Brook. 1979. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Musyaffa', Dwi Nuur. 2015. *Pengaruh Dosis dan Aspek Rasio Serat Baja terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas pada Beton Normal dan Beton Mutu Tinggi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Neville, Adam M. 1987. *Concrete Technology*. John Wiley & Sons Inc. New York
- PBI. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Beton.
- Pratikto. 2010. *Beton Ringan Ber-agregat Limbah Botol Plastik Jenis PET (Poly Ethylene Terephthalate)*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- Putra, Surya Adi. 2013. *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Beton Ringan dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Standart Nasional Indonesia (SNI). 2002. *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Sukoyo. 2011. *Rekayasa Peningkatan Karakteristik Beton Dengan Menggunakan Serat*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Suparjo. 2005. *Pemanfaatan Serat Sabut Kelapa dan Serat Bendrat untuk Dinding Beton Ringan Pracetak Tulangan Anyaman Bambu dengan Agregat Limbah Batu Apung*. Mataram: Universitas Mataram.
- Susilo, Dwi Afif. 2012. *Efek Penggantian Sebagian Semen dengan Silica Fume Terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Beton Ringan*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Tan Sien Lok dan Robby Hendrawan. 1992. *Sifat-Sifat Beton Mutu Sangat Tinggi dengan Menggunakan Fly Ash Cement, Silica Fume dan Superplasticizers*. Surabaya: Universitas Kristen Petra .
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta
- Wiryanan, Sony Aria. 2007. *Studi Karakteristik Agregat Kasar Ringan Buatan dari Limbah Botol Plastik Polietilen Terephthalate (PET) dan Pengaruh Agregat Kasar Ringan Buatan Tersebut terhadap Sifat-Sifat Mekanis Beton Ringan*. Jakarta: Universitas Indonesia.