

# KAJIAN KUAT TEKAN, KUAT TARIK, KUAT LENTUR DAN REDAMAN BUNYI PADA PANEL DINDING BETON RINGAN DENGAN AGREGAT LIMBAH PLASTIK PET DAN LIMBAH SERBUK KAYU

Itsna Fauziah Royani<sup>1)</sup>, Achmad Basuki<sup>2)</sup>, Sunarmasto,<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2),3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: itsnafauziahroyani@yahoo.com

## Abstract

Concrete widely used as a building material. The study was conducted by reviewing the magnitude of the compressive strength, tensile strength, flexural strength and absorption on wall panels concrete with a mixture of coarse aggregates from PET plastic and sawdust waste. Selection of PET plastic and sawdust waste are expected to produce environmentally friendly concrete that utilize industrial and household waste due the coarse aggregate resources are limited. Concrete is obtained by mixing portland cement, water and aggregate in a certain ratio. PET is a polyester resin that is durable, strong, lightweight and malleable when heated. Sawdust contained cellulose and hemicellulose levels when added to a mixture of concrete, these compounds will be absorbed on the surface of minerals / particles and provide additional bond between the particles due to the nature of adhesion and dispersion as well as inhibit the diffusion of water in the material due to the nature of hydrophobic. This study used an experimental method. Concrete mix design using Drex-Corrise method with coarse aggregate is produced through the process of heating, cooling and solving. The study was conducted by making 12 test objects, the 3-cylinder 7.5 cm diameter 15 cm height for compressive strength testing, 3 I beams testing tensile strength, 3 plates 50x30x3 size panels for flexural strength testing and 3-cylinder 10 cm in diameter with a thickness of 3 cm for absorption testing. Testing of compressive strength, tensile strength, flexural strength and absorption made on the concrete age of 28 days, for 27 days be cured by immersing the specimen in a water. The aggregates have irregular shapes, angular with smooth and porous surface texture. The test results of 5.28 MPa compressive strength, 1.18 MPa tensile strength and 1.82 MPa flexural strength, indicating that the concrete with coarse aggregate from PET plastic and sawdust waste has not provided results in accordance with the terms and desired results for the application of panel concrete wall in testing compressive strength, tensile strength and flexural strength. To the absorption test, concrete with coarse aggregate waste PET plastic and sawdust waste having the ability to muffle the sound very low absorption coefficient between 0.1-0.3 in the frequency range of 250-2000 Hz.

**Keywords:** compressive strength, tensile strength, flexural strength, sound absorption, coarse aggregate, PET plastic, sawdust waste, wall panel..

## Abstrak

Beton banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Penelitian dilakukan dengan meninjau besarnya nilai kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan redaman bunyi pada panel dinding beton dengan agregat kasar dari campuran limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu. Pemilihan penggunaan limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu diharapkan dapat menghasilkan beton ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah industri dan rumah tangga karena sumber daya agregat kasar terbatas. Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat pada perbandingan tertentu. PET merupakan resin *polyester* yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. Pada serbuk kayu terdapat kadar selulosa dan hemiselulosa yang apabila ditambahkan pada campuran semen dan pasir pembentuk beton, senyawa ini akan terserap pada permukaan mineral/partikel dan memberikan tambahan kekuatan ikat antar partikel akibat sifat adhesi dan dispersinya, serta menghambat difusi air dalam material akibat sifat hidrofobnya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Rancang campur beton menggunakan metode *Drex-Corrise* dengan agregat kasar dihasilkan melalui proses pemanasan, pendinginan dan pemecahan. Penelitian dilakukan dengan membuat 12 benda uji, yaitu 3 silinder diameter 7,5 cm tinggi 15 cm untuk pengujian kuat tekan, 3 balok I untuk pengujian kuat tarik, 3 pelat panel ukuran 50x30x3 untuk pengujian kuat lentur dan 3 silinder diameter 10 cm dengan ketebalan 3 cm untuk pengujian redaman bunyi. Pengujian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan redaman bunyi dilakukan pada beton usia 28 hari, selama 27 hari dilakukan perawatan (*curing*) dengan merendam benda uji didalam bak air. Agregat yang dihasilkan memiliki bentuk tidak beraturan, bersudut dengan tekstur permukaan halus dan berpori. Hasil uji kuat tekan 5,28 MPa, kuat tarik 1,18 MPa dan kuat lentur 1,82 MPa, menunjukkan bahwa beton dengan agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu belum memberikan hasil sesuai dengan syarat dan hasil yang diinginkan untuk pengaplikasian panel dinding beton dalam pengujian kuat tekan, kuat tarik dan lentur. Untuk pengujian redaman bunyi, beton dengan agregat kasar limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu memiliki kemampuan meredam bunyi sangat rendah dengan koefisien serapan antara 0,1-0,3 pada rentang frekuensi 250-2000 Hz.

**Kata kunci:** kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, redaman bunyi, agregat kasar, limbah plastik PET, limbah serbuk kayu, panel dinding beton.

## PENDAHULUAN

Semakin luas dan banyaknya penggunaan beton menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kebutuhan beton dalam pembangunan di masa yang akan datang. Hal ini yang menyebabkan perlunya perkembangan teknologi beton dan inovasi baru mengenai beton itu sendiri. Agregat kasar merupakan bahan utama campuran beton. Agregat kasar alami dapat diganti dengan menggunakan agregat buatan, salah satunya dengan membuat agregat kasar dengan memanfaatkan limbah yang ada disekitar lingkungan. Limbah industri dan rumah tangga yang tidak ter-

kendali akan menyebabkan kerusakan lingkungan yang berakibat fatal bagi kebersihan lingkungan, diperlukan suatu pola untuk menyiasati dan mengelola permasalahan lingkungan tersebut agar kerusakan lingkungan yang ditimbulkan dapat dikurangi ataupun dihindari. Limbah terdiri dari dua jenis, yaitu limbah organik dan non organik. Adanya masalah pengolahan limbah di Indonesia terutama untuk limbah non-organik seperti plastik dapat dimanfaatkan dengan cara didaur ulang. Limbah organik dapat berupa serbuk kayu, kertas koran dan sekam padi. Campuran limbah plastik dan serbuk kayu dapat digunakan sebagai pengganti material agregat kasar untuk menghasilkan beton dengan berat ringan dan ramah lingkungan. Penelitian dilakukan untuk mengkaji kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan redaman bunyi panel dinding dengan agregat kasar dari campuran limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu.

## LANDASAN TEORI

Beton adalah suatu elemen struktur yang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen *portland* dan air. Beton sebagai dinding panel adalah beton yang telah dibuat dengan bentuk sesuai cetakan, biasanya berbentuk seperti plat. Untuk mengurangi jumlah pori dalam suatu cetakan panel beton dapat dilakukan dengan cara mengisi ruang pori menggunakan material atau agregat yang lebih kecil. Beton ringan pada dasarnya memiliki campuran sama dengan beton normal pada umumnya, namun agregat kasar yang menempati 60% dari seluruh komponen, direduksi berat jenisnya. Reduksi ini dilakukan dengan menggantinya dengan *Artificial Light Weight coarse Aggregate (ALWA)* semisal *bloated clay*, *crushed bricks* atau *fly ash based coarsed aggregate*. Pada penelitian ini digunakan campuran limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu sebagai pengganti agregat kasar alami. Agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis ringan, porositas tinggi serta konduktivitas panasnya rendah. Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m<sup>3</sup>

## METODE PENELITIAN

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 12 benda uji dengan 4 bentuk dan ukuran yang berbeda, yaitu 3 silinder diameter 7,5 cm tinggi 15 cm untuk pengujian kuat tekan, 3 silinder diameter 10 cm tebal 3 cm untuk pengujian redaman bunyi, 3 balok I untuk pengujian kuat tarik dan 3 panel 50 x 30 x 3 cm untuk pengujian kuat lentur. Pengujian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan redaman bunyi dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, rancang campur beton ringan yang digunakan mengacu pada peraturan *Dreux-Corrise*. Kuat tekan ( $f_c'$ ) yang direncanakan dengan fungsi beton sebagai panel dinding adalah 15 MPa. Kuat tekan yang ditarget hanya sebesar 15 Mpa dikarenakan panel dinding beton termasuk kategori beton yang nonstruktural. Sebelum melakukan penelitian di laboratorium, peneliti menyiapkan alat dan bahan, melakukan uji pendahuluan terhadap agregat halus dan agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu dengan perbandingan 1:4. Membuat adukan beton. Membuat benda uji kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan redaman bunyi. Melakukan perawatan terhadap benda uji selama 27 hari. Melakukan pengujian pada beton umur 28 hari dengan kajian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan redaman bunyi. Melakukan analisis data hasil pengujian. Pada tahap akhir peneliti melakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari analisis pengujian yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

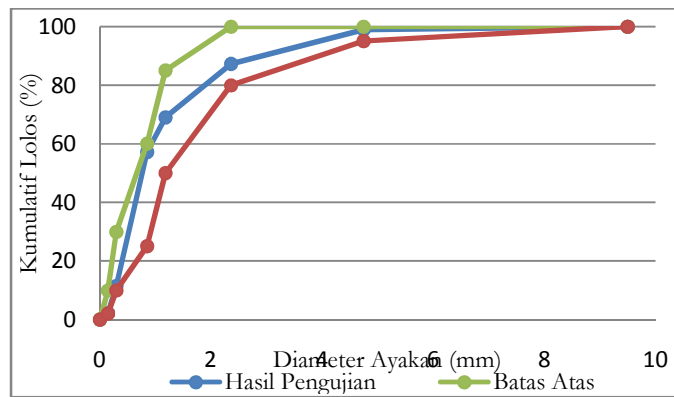
### Hasil Pengujian Bahan Dasar

Bahan dasar yang di uji dalam penelitian ini adalah agregat halus dan agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Keterangan
Kandungan Lumpur	4 %	Maksimum 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,61 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,63 gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	Memenuhi Syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	2,67 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	0,81 %	-	-
Modulus Halus	2,74	2,3-3,1	Memenuhi syarat

Dari Tabel 1, agregat halus memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, didukung dengan grafik hasil gradasi agregat halus pada Gambar 1 yang menjelaskan bahwa hasil pengujian gradasi agregat halus memenuhi syarat batas dari ASTM C-33.



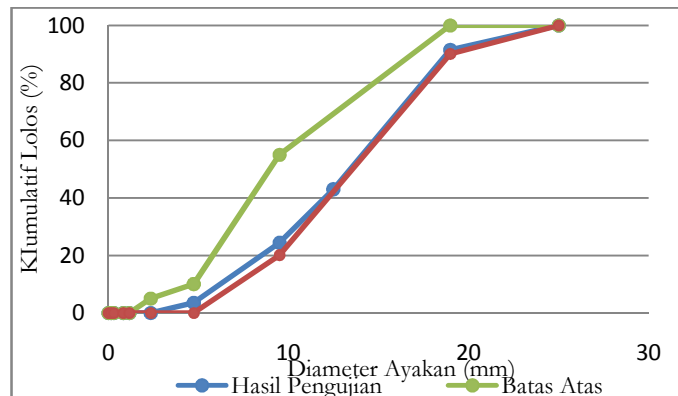
Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat kasar buatan dari limbah plastik PET dengan limbah serbuk kayu yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (abrasi) dan gradasi agregat kasar.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Keterangan
<i>Bulk specific gravity</i>	1,12 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	1,15 gr/cm <sup>3</sup>	1,0-1,8	Memenuhi syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	1,15 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbition</i>	3 %	-	-
Abrasi	24,28 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus	7,38	5-8	Memenuhi syarat

Dari Tabel 2, agregat kasar limbah plastik PET dan serbuk kayu memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton setelah pengujian *specific gravity*, abrasi dan gradasi. Hasil gradasi didukung dengan grafik hasil pengujian gradasi agregat kasar pada Gambar 2 yang menjelaskan bahwa hasil analisis saringan agregat kasar memenuhi syarat batas dari ASTM C-33.



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Kasar

### Analisa Data Hasil Perhitungan

#### Rencana Campuran Adukan Beton

Dari perhitungan rencana campuran (*mix design*) beton ringan dengan mengacu pada metode *Dreux Corrise*. Total material yang dibutuhkan untuk membuat 12 benda uji pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

- Air = 3,126 liter
- Semen = 4,689 kg
- Pasir = 11,220 kg
- Agregat Buatan = 9,067 kg

Berat jenis beton yang dihasilkan adalah sebesar 1648,23 kg/m<sup>3</sup>. Beton dengan agregat kasar campuran limbah plastik PET dan serbuk kayu dapat dikategorikan sebagai beton ringan karena berat jenisnya kurang dari 1900 kg/m<sup>3</sup>.

### Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban saat beton hancur ketika menerima beban tersebut ( $P_{max}$ ). Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 hari

Nama Benda Uji	P max (kN)	fc' (Mpa)	fc' rata-rata (Mpa)
SI-1	20	4,53	
SI-2	20	4,53	5,28
SI-3	30	6,79	

Kuat tekan beton dengan agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu didapat rata-rata sebesar 5,28 MPa. Hasil ini didapat setelah setelah dilakukan *curing* dengan perendaman dalam air selama 27 hari. Sedangkan kuat tekan yang direncanakan sebesar 15 MPa. Hasil nilai kuat tekan beton yang didapat tidak setinggi nilai kuat tekan yang disyaratkan, hal ini kemungkinan terjadi karena kekerasan agregat kasar buatan limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu yang tidak sekeras kerikil. Beton mengalami kerusakan pada bagian ikatan antara agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu dengan mortar. Hal ini dimungkinkan karena permukaan agregat yang cenderung halus. Keerusakan benda uji hasil pengujian kuat tekan disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

### Hasil Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada saat beton berumur 28 hari. Dengan menggunakan *Universal Testing Machine* untuk mendapatkan gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh beton sebelum beton tersebut putus. Hasil pengujian kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Umur 28 hari

Nama Benda Uji	P max (kN)	fs' (Mpa)	fs' rata-rata (Mpa)
T-1	0,37	1,23	
T-2	,38	1,27	1,18
T-3	0,31	1,03	

Kuat tarik beton dengan agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu didapat rata-rata 1,18 MPa dengan sifat daktilitas yang tinggi atau sering disebut dengan beton ulet. Hasil ini didapat setelah dilakukan *curing* dengan perendaman dalam air. Hasil pengujian kuat tarik disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik

### Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur ini adalah dengan meletakkan benda uji diatas 2 tumpuan yang sejajar, kemudian membebaninya dengan beban merata yang terletak ditengah bentang, serta dilakukan penambahan beban secara bertahap hingga mencapai benda uji patah untuk mendapat nilai beban maksimum ( $P_{maks}$ ). Hasil pengujian kuat tarik dapat dilihat Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 hari

Nama Benda Uji	$P_{max}$ (kN)	$\sigma_l$ (Mpa)	$\sigma_l$ rata-rata (Mpa)
L-1	1677,51	1,94	
L-2	1530,36	1,78	1,82
L-3	1520,55	1,76	

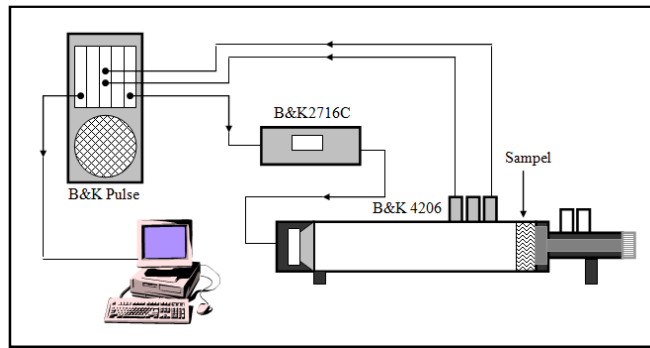
Pengujian kuat lentur panel dilakukan pada umur beton 28 hari. Kuat lentur panel dengan agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu mempunyai kuat lentur rata-rata 1,82 MPa. Kuat lentur panel pada penelitian ini belum memenuhi standar kuat lentur panel berdasar SNI 03-6861.1-2002. Karena kuat lentur yang disyaratkan sebesar 10 MPa. Kerusakan panel diawali dengan renggangnya ikatan antara agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu dengan pasta semen. Hal tersebut menjadi titik lemah beton dalam uji kuat lentur ini. Hasil pengujian kuat lentur disajikan dalam Gambar 5.



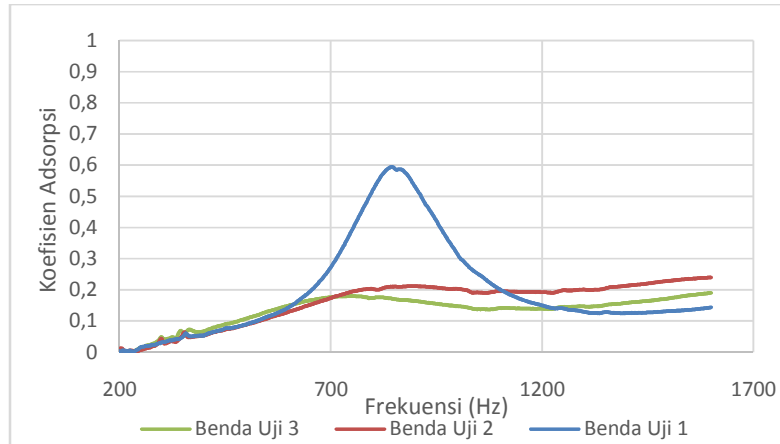
Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Lentur

### Hasil Pengujian Redaman Bunyi

Pada pengujian redaman bunyi menggunakan metode impedansi dua mikrofon yang berbasis analisis fungsi transfer terhadap sinyal yang terindra oleh kedua mikrofon. Bunyi berupa random noise dibangkitkan dengan Generator Modul B&K 3160-A-042 yang kemudian diperkuat dengan amplifier B&K 2716C. Gelombang bunyi tersebut kemudian akan merambat dan mengenai benda uji. Sebagian gelombang akan diserap dan sebagian lagi akan terpantulkan kembali. Gelombang datang dan gelombang pantul akan diindra dengan dua buah mikrofon B&K 4187 yang merupakan free field microphone dengan diameter  $\frac{1}{4}$  inchi. Setelah diperkuat, sinyal yang ditangkap oleh kedua mikrofon diteruskan ke 4-ch microphone modul. Skema pengujian koefisien redaman bunyi ditunjukkan dalam Gambar 6, dan hasil pengujian redaman bunyi disajikan dalam Gambar 7.

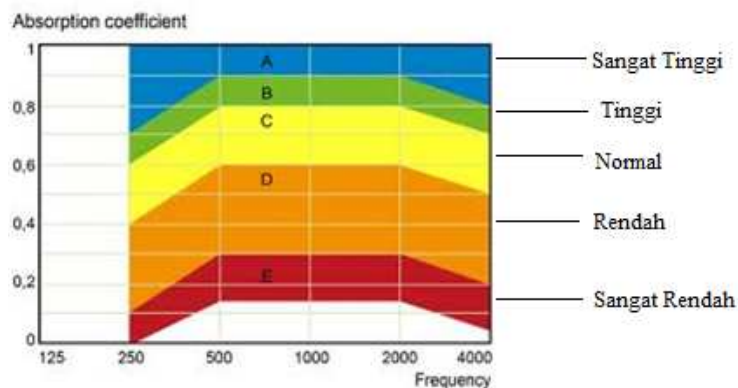


Gambar 6. Konfigurasi dalam Pengujian Koefisien Redaman Bunyi dengan ASTM E-1050-98



Gambar 7. Grafik Koefisien Serap Bunyi

Pengujian redaman bunyi dilakukan pada umur beton 28 hari. Hasil pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara koefisien penyerapan bunyi dengan frekuensi seperti pada Gambar 7. Jika dikaitkan dengan ISO 11654:1997 (*Acoustical Sound Absorbers For Use In Buildings-Rating of Sound Absorption*) sebagaimana tersaji dalam Gambar 8. Maka beton dengan agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu berada pada kelas E, dimana koefisien serapan berkisar antara 0,1 hingga 0,3 pada rentang frekuensi 250-2000 Hz. Hal ini berarti kemampuan beton dengan agregat kasar dari limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu untuk menyerap bunyi sangat rendah.



Gambar 8. Kinerja akustik *building sound absorber* mengacu ISO 11654-1997

## SIMPULAN

Dari seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Agregat kasar campuran limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton setelah dilakukan uji abrasi, specific gravity dan gradasi. Agregat kasar buatan termasuk dalam agregat ringan dengan berat jenis 1,15 gr/cm<sup>3</sup>.
2. Nilai kuat tekan rata-rata beton dengan agregat agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu sebesar 5,28 MPa dari kuat tekan yang direncanakan sebesar 15 MPa. Standar 15 MPa yang digunakan dalam pengujian kuat tekan adalah standar untuk beton normal yang digunakan sebagai panel dinding, bukan ditujukan untuk beton ringan beragregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu.
3. Nilai kuat tarik rata-rata beton dengan agregat agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu sebesar 1,18 MPa dengan sifat daktilitas yang tinggi atau sering disebut dengan beton ulet.
4. Nilai kuat lentur rata-rata beton dengan agregat agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu sebesar 1,82 MPa dengan standar hasil pengujian yang digunakan adalah sebesar 10 MPa. Standar 10 MPa yang digunakan dalam pengujian kuat lentur adalah standar untuk beton normal yang digunakan sebagai panel dinding, bukan ditujukan untuk beton ringan beragregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu.
5. Nilai redaman bunyi beton dengan agregat agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu berada pada kelas E, dimana koefisien serapan berkisar antara 0,1 hingga 0,3 pada rentang frekuensi 250-2000 Hz.
6. Beton dengan agregat agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu berdasarkan kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur tidak memenuhi syarat sebagai panel dinding. Sedangkan berdasarkan redaman bunyi, beton memenuhi syarat sebagai peredam suara kelas E yang memiliki kemampuan meredam suara sangat rendah.
7. Penambahan serbuk kayu dengan plastik PET pada pembuatan agregat kasar menurunkan nilai sifat mekanis dari agregat kasar tersebut tetapi memberikan nilai tambah memiliki berat jenis yang ringan. Penambahan serbuk kayu dengan plastik PET pada pembuatan agregat kasar memberikan nilai tambah pada berat jenisnya. Beton dengan berat jenis ringan dapat diaplikasikan sebagai bangunan non struktural bersaing dengan gypsum.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Achmad Basuki, ST, MT dan Ir. Sunarmasto, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- Achmad Basuki. 2012. Bahan Tambah Pada Campuran Beton. Harian Joglo Semar, Surakarta.
- Anonim, 2012, SK SNI-T-15-1990-03. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Departemen Pekerjaan Umum. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Anonim, 2012, Sni 03-4154-1996. Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Balok Uji Sederhana Yang Dibebani Terpusat Langsung. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2012, SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Departemen Pekerjaan Umum. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Anonim, 2009, SNI 03-2487-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version). Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Anonim, 2012, SNI 03-3449-2002 Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan. Departemen Pekerjaan Umum. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Bagus Soebandono. 2013. Perilaku Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE . Jurnal Ilmiah Semesta Teknika. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Demas Purnama Andhy Akbar. 2011. Pengaruh Variasi Serat Abaka Terhadap Kuat Lentur *Geopolymer Mortar* Berbahan Dasar Abu Terbang. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Devinta Puspa Rahmadika. 2012. Pengaruh Abrasi Air Laut Pada Beton Berbasis Gula Ditinjau Dari Kuat Tekan, Modulus Elastisitas dan Ketahanan Kejut. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Muhammad Ikhsan Saifuddin. 2013. Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton. Jurnal. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian, Riau.
- Peraturan Beton Indonesia N.I-2, 1971, *Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik Direktorat Jendral Cipta Karya*, Bandung.
- Shinta Dwisetyowati. 2008. Studi Sifat-Sifat Mekanis Beton Yang Menggunakan Agregat Kasar Dari Plastik Jenis Polyethylen Terephthalate (PET). Skripsi. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Siswandi. 2007. Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Sisa Penggergajian Terhadap Kuat Desak Beton. Jurnal Teknik Sipil. Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.