

# UJI KUAT LENTUR PADA PANEL BETON BERAGREGAT KASAR LIMBAH PLASTIK PET DAN TULANGAN WIREMESH

Muhammad Fauzan Ramadhani<sup>1)</sup>, Achmad Basuki<sup>2)</sup>, Agus Supriyadi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

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

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp. 0271647069. Email : [muhojanrama@gmail.com](mailto:muhojanrama@gmail.com)

## Abstract

The plastic waste of PET (Polyethylene Terephthalate) can be an alternative replacement of coarse aggregate materials in the lightweight concrete is environmentally friendly. The study purposes were determined the value of flexural strength of concrete mix with coarse aggregate of plastic waste of PET with the addition of silica fume and steel fibers with the reinforcement addition of wiremesh. The study method was used experimental method. The testing on the fine aggregate, coarse aggregate and wiremesh were conducted as a preliminary test to determine the feasibility of the material. The planning of concrete mix design was used Dreux-Corrise method. Wiremesh was used the diameter of 1.55 mm with reinforcement spacing of 2.5 cm. The silica fume percentage were used by 10% of the cement weight and steel fibers was used the bendrat wire. Panel-shaped test specimens measuring 50 cm of long, 30 cm of wide and variations in thickness of 3 cm and 5 cm respectively amounted to 3 pieces. Based on the analysis of flexural strength calculations, the average of flexural strength of the concrete test specimen with a thickness of 3 cm theoretically is 110.438,9677 N.mm and according to the results of laboratory testing is 376.667 N.mm. While the average of flexural strength of the concrete test specimen with a thickness of 5 cm theoretically is 316.177,8184 N.mm and according to the results of laboratory testing is 573.330 N.mm.

**Keywords :** *wiremesh, flexural strength, Polyethylene Terephthalate, lightweight concrete, Dreux-Corrise*

## Abstrak

Limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat menjadi alternatif bahan pengganti agregat kasar pada beton ringan yang ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai kuat lentur panel beton beragregat kasar limbah plastik PET dengan penambahan *silica fume* dan serat baja yang diperkuat dengan *wiremesh*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode experimental. Pengujian terhadap agregat halus, agregat kasar dan kawat *wiremesh* dilakukan sebagai uji pendahuluan untuk mengetahui kelayakan material. Perencanaan rancang campur beton menggunakan metode *Dreux-Corrise*. Kawat *wiremesh* yang digunakan berdiameter 1,55 mm dengan spasi tulangan 2,5 cm. Presentase *silica fume* yang dipakai sebesar 10% dari berat semen dan serat baja yang digunakan adalah kawat bendrat. Benda uji berbentuk panel berukuran panjang 50 cm, lebar 30 cm dan memiliki variasi ketebalan 3 cm dan 5 cm yang masing-masing berjumlah 3 buah. Berdasarkan analisis perhitungan kuat lentur, nilai kuat lentur rata-rata dari panel beton dengan ketebalan beton 3 cm secara teoritis adalah 110.439 N.mm dan menurut hasil pengujian laboratorium adalah 376.667 N.mm. Nilai kuat lentur rata-rata dari panel beton dengan ketebalan beton 5 cm secara teoritis adalah secara teoritis adalah 316.178 N.mm dan menurut hasil pengujian laboratorium 573.330 Nmm.

**Kata Kunci :** *wiremesh, kuat lentur, Polyethylene Terephthalate, beton ringan, Dreux-Corrise*

## PENDAHULUAN

Dalam suatu bangunan gedung, dinding merupakan bagian bangunan yang sangat penting peranannya. Selain digunakan sebagai pembentuk suatu bangunan, dinding juga berperan melindungi isi bangunan dari pengaruh luar. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi konstruksi, muncul inovasi dan kreativitas produk yang berupa dinding pracetak sebagai pengganti dinding konvensional. Dewasa ini penelitian yang sering dilakukan adalah mengenai produk beton ringan berbentuk panel yang digunakan sebagai dinding partisi. Limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat menjadi alternatif bahan pengganti agregat kasar pada beton ringan yang ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai kuat lentur panel beton beragregat kasar limbah plastik PET dengan penambahan *silica fume* dan serat baja yang diperkuat dengan *wiremesh*.

### ***Polyethylene terephthalate (PET)***

*Polyethylene terephthalate (PET)* merupakan polyester termoplastik yang diproduksi secara komersial melalui produk kondensasi yang dikarakterisasi dengan banyaknya ikatan ester yang didistribusikan sepanjang rantai utama polimer. *Polyethylene terephthalate (PET)* adalah bahan dasar pembuatan botol minuman plastik, dengan nama IUPAC-nya *polioksi etilen neooksitereftaol*. Material ini memiliki sifat mekanik yang baik, ketahanan terhadap pelarut yang bagus, dan stabilisasi hidrolitiknya baik (Ehrig, 1993).

### Wiremesh

Wiremesh adalah besi fabrikasi bertegangan leleh tinggi yang terdiri dari dua lapis kawat baja yang saling bersilangan tegak lurus. Setiap titik persilangan dilas secara otomatis menjadi satu, menghasilkan penampang yang homogen, tanpa kehilangan kekuatan dan luas penampang yang konsisten. Jarak antar kawatnya yang sama, seragam dan konsisten membuat besi wiremesh tidak akan pernah berkurang serta semua susunan selalu berada di posisinya masing-masing. (Putri Dewantari, 2010)

### Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang diproduksi dengan menggunakan agregat ringan yang memiliki berat jenis agregat ringan sekitar  $1900 \text{ kg/m}^3$  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). Penggunaan beton ringan juga disesuaikan dengan kepadatan dan kekuatannya sesuai Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 1. Klasifikasi kepadatan beton ringan

No	Kategori Beton Ringan	Berat Isi Beton ( $\text{kg/m}^3$ )	Tipikal Kuat Tekan Beton (Mpa)	Tipikal Aplikasi
1	Non Struktural	300-1100	< 7	Insulating Material
2	Non Struktural	1100-1600	7-14	Unit Masonry
3	Struktural	1450-1900	17-35	Struktural
4	Normal	2100-2550	20-40	Struktural

Sumber: Ringkasan (J Francis Young, 1972; hal 242)

### Silica Fume

Menurut standar “Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic Cemen Concrete and Mortar” (ASTM.C. 1240,1995:637-642) silica 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*). Salah satu fungsi *silica fume* adalah sebagai *water reduction* sehingga FAS kecil dan kuat tekan meningkat (Kartika, 2015). Pada penelitian ini menggunakan kadar *Silica Fume* 10% dari berat semen.

### Serat Baja

Standar mengenai penentuan ukuran serat diatur dalam American Civil Institute (ACI). Penentuan panjang serat sesuai dengan ACI 544.4R-88 yaitu  $12,7 < L/d < 63,5$ . Kawat bendrat yang biasa di pergunakan untuk mengikat antar tulangan besi struktur bangunan, berdiameter  $\pm 1 \text{ mm}$  berwarna hitam (Purnawan,2013). Penelitian ini menggunakan kawat bendrat dengan panjang 50 mm sebanyak  $10 \text{ kg/m}^3$  beton.

### Metode Luas Transformasi

Perbandingan modulus baja terhadap modulus beton disebut *perbandingan modular n*. Dalam SK SNI T-15-1991-03 besarnya nilai *n* ditetapkan dengan pembulatan terdekat dari nilai perbandingan kedua modulus elastisitas tersebut.

$$\dots\dots\dots [1]$$

Tulangan-tulangan baja pada beton bertulang dapat digantikan oleh suatu luas beton pengganti ( $nA_s$ ) yang ekuivalen, yang diharapkan dapat menahan tarik. Luas ekuivalen ini disebut sebagai luas transformasi (transformed).

### Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur di laboratorium berdasarkan ASTM C-78, benda uji patah pada bagian tengah (antara B dan C) dan patahnya diakibatkan oleh momen yang paling maksimum. Besarnya kuat lentur pengujian dapat dihitung berdasarkan:

$$\dots\dots\dots [2]$$

Secara teoritis dengan menggunakan metode luasan transformasi, besarnya kuat lentur dapat ditentukan dengan rumus berikut:

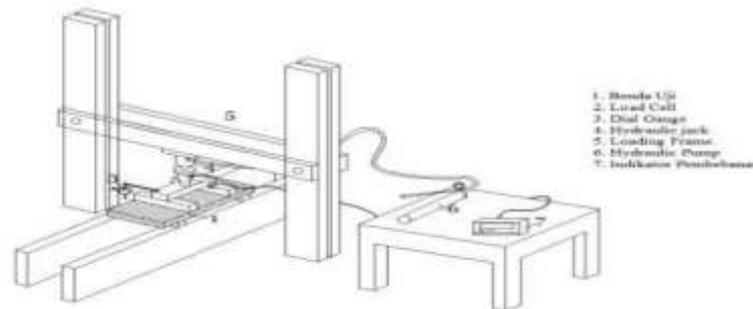
$$\dots\dots\dots [3]$$

Besarnya nilai momen inersia ekuivalen ( ) dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\dots\dots\dots [4]$$

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, pengujian yang dilakukan antara lain pengujian agregat, kuat tekan beton, kuat tarik *wiremesh* dan kuat lentur pelat beton. Benda uji kuat lentur berukuran panjang 50 cm dan lebar 30 cm dengan variasi ketebalan 3 cm dan 5 cm. Masing-masing variasi berjumlah 3 buah, umur beton yang dipakai 28 hari, pengujian kuat lentur dilakukan dengan *setting-up* seperti gambar 1.



Gambar 1. *Setting* alat pengujian lentur

### Tahap Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan empat tahap yaitu :

a. Tahap Persiapan dan Pengujian Bahan

Pada tahap persiapan bahan dilakukan pembelian bahan dan pembuatan agregat kasar dari limbah plastik *PET*. Langkah pembuatan agregat kasar *PET* antara lain melepas tutup dan cincin pada kepala botol limbah plastik *PET* kemudian dipotong menjadi 3 bagian. Setelah itu hasil potongannya dicuci hingga bersih dan dikeringkan. Setelah kering potongan limbah plastik *PET* dilelehkan didalam wajan yang dipanaskan terus menerus diatas kompor dan diaduk-aduk sampai tidak terdapat gelembung udara. Menuangkan dan mendinginkan lelehan *PET* tersebut didalam cetakan hingga mengeras, kemudian dipecah sesuai ukuran agregat yang dibutuhkan. Pengujian bahan dilakukan pada agregat kasar, agregat halus dan kawat *wiremesh*. Pada pengujian agregat kasar dilakukan uji *specific gravity*, gradasi dan abrasi. Pengujian agregat halus dilakukan pengujian *specific gravity* dan gradasi, sedangkan pengujian *wiremesh* dilakukan uji kuat tarik.

b. Hitungan Rancang Campur (Mix Desain) dan Pembuatan Benda Uji

Limbah plastik *PET* yang digunakan sebagai agregat kasar termasuk agregat ringan karena memiliki berat jenis yang kurang dari berat jenis beton normal. Metode yang dipakai dalam perencanaan dan perhitungan rancang campur menggunakan metode *Dreux-Corrise*. Hasil hitungan kebutuhan bahan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Hasil perhitungan berat material untuk setiap 1 m<sup>3</sup>

Berat (kg)						
Semen	Air	Pasir	PET	Silica fume	Serat	Viscocrete-10
345	230	627,70	549,24	34,5	10	2,3

Kegiatan pembuatan benda uji diawali dengan menyiapkan dan menimbang bahan campuran adukan beton. Setelah itu dilakukan pencampuran agregat halus, *silica fume* dengan semen dan air sebanyak ½ volume air kemudian mengaduknya hingga homogen. Memasukkan agregat kasar *PET*, *superplasticizer* berupa Silica Foem dan *Viscocrete* dalam campuran tersebut disertai penambahan air sebanyak ½ volume air. Langkah selanjutnya menyebarkan serat kawat baja di atas adukan beton kemudian mengaduknya kembali sampai tercampur homogen. Hasil campuran yang telah homogen diuji *slump* dan dituang ke cetakan bekisting.

c. Perawatan dan pengujian benda uji

Perawatan dilakukan dengan cara membungkus benda uji dengan menggunakan karung goni yang telah dibasahi selama 27 hari. Setelah selama 27 hari, benda uji dicat dengan warna putih dan 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 tarik *wiremesh*, kuat tekan beton dan kuat lentur panel beton. Pada hasil pengujian berat jenis didapatkan nilai rata-rata sebesar 1620,92 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis beton memenuhi syarat berdasarkan SKSNI 03-2847-2002 yaitu tidak lebih dari 1900 kg/m<sup>3</sup>. Hasil pengujian *Slump* pada adukan beton yang digunakan untuk benda uji kuat tekan memiliki nilai rata-rata sebesar 12,4 cm. Hal ini berarti sesuai dengan nilai *slump* rencana yaitu 12±2 cm. Pada pengujian kuat tarik kawat *wiremesh* didapatkan nilai rata-rata sebesar 596,823 MPa untuk *ultimate strength* dan 188,667 MPa untuk *yield strength*. Pada hasil pengujian kuat tekan didapatkan nilai rata-rata sebesar 7,804 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa adukan beton telah sesuai dengan klasifikasi kepadatan beton ringan menurut J Francis Young, 1792 dimana standar kategori beton ringan untuk keperluan non struktural adalah 7-14 MPa. Namun hasil kuat tekan rata-rata tersebut tidak memenuhi target kuat tekan rencana sebesar 20 MPa.

### Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan menggunakan *Loading Frame*. Pengujian dilakukan dengan meletakkan benda uji berbentuk pelat diatas 2 tumpuan yang sejajar, kemudian membebaninya dengan sistem pembebanan 2 titik pembebanan merata (*Two Point Loading*) yang diletakkan ditengah bentang. Data lendutan didapat dengan mencatat posisi jarum pada *dial gauge* berskala 0,01 mm pada setiap penambahan beban yang diberikan.

**Tabel 3.** Awal retak, beban maksimum, keruntuhan benda uji kuat lentur dengan tebal 3 cm

Benda uji	<i>Crack</i>		<i>Peak</i>		<i>Failure</i>	
	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)
KL3-1	7,20	0,795	15,20	4,54	6,43	5,53
KL3-2	6,80	0,955	12,60	4,16	2,12	8,51
KL3-3	8,60	0,99	13,10	4,50	3,67	5,77

**Tabel 4.** Awal retak, beban maksimum, keruntuhan benda uji kuat lentur dengan tebal 5 cm

Benda uji	<i>Crack</i>		<i>Peak</i>		<i>Failure</i>	
	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)
KL5-1	11,60	0,60	19,50	2,95	5,40	3,00
KL5-2	11,20	0,87	21,80	3,38	5,30	3,83
KL5-3	11,60	0,65	22,00	2,82	1,00	3,00

Hitungan analisis kuat lentur menggunakan persamaan [1] dikarenakan bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) sehingga patahnya diakibatkan oleh momen yang paling maksimum. Hasil Hitungan kuat lentur dapat terlihat pada Tabel 5 dan 6, berikut:

**Tabel 5.** Hasil pengujian kuat lentur dengan tebal 3 cm

Kode	Beban <i>Crack</i> (N)	Bebann <i>Peak</i> (N)	M <i>Crack</i> (Nmm)	M <i>Peak</i> (Nmm)
KL3-1	7.200	15.200	360.000	760.000
KL3-2	6.800	12.600	340.000	630.000
KL3-3	8.600	13.100	430.000	655.000
Rerata	7.533	13.633	376.667	681.670

**Tabel 6.** Hasil pengujian kuat lentur dengan tebal 5 cm

Kode	Beban <i>Crack</i> (N)	Bebann <i>Peak</i> (N)	M <i>Crack</i> (Nmm)	M <i>Peak</i> (Nmm)
KL3-1	11.600	19.500	580.000	975.000
KL3-2	11.200	21.800	560.000	1090.000
KL3-3	11.600	22.000	580.000	1100.000
Rerata	11.467	21.100	573.330	1055.000

Berdasarkan analisis hitungan teoritis, didapatkan nilai momen lentur yang dapat ditahan oleh penampang panel beton dengan tebal panel 3 cm adalah 110.439 Nmm dan nilai momen lentur dari panel beton dengan tebal panel 5 cm adalah 316.178 Nmm. Berdasarkan analisis perhitungan hasil pengujian di laboratorium, nilai rata-rata momen lentur saat terjadi *crack* pada benda uji dengan tebal panel 3 cm sebesar 376.667 Nmm dan benda uji dengan tebal panel 5 cm sebesar 573.330 Nmm. Penampang panel beton dengan tebal 3 cm rata-rata mampu menahan momen lentur sebesar 681.670 Nmm pada beban maksimum hingga 13.633,3 N. Sedangkan penampang panel beton dengan tebal 5 cm rata-rata mampu menahan momen lentur sebesar 1.055.000 Nmm pada beban maksimum 21.100 N sampai akhirnya runtuh dan pembebanan tidak dapat dilanjutkan.

### **Perilaku Keruntuhan Beton Beragregat Kasar Plastik *PET* Dengan Penambahan *Silica Fume* dan Kawat Bendrat Yang Diperkuat Material *Wiremesh***

Dari hasil percobaan uji kuat lentur yang dilakukan dapat dilihat perilaku keruntuhan yang terjadi pada pelat beton. Pada saat pelat beton dikenai pembebanan terus menerus dengan interval tertentu maka beton akan mengalami proses keruntuhan yang bertahap sesuai dengan beban yang ditambahkan. Pada awal pembebanan sampai kondisi akan retak untuk pertama kalinya, beton masih dalam tahap tanpa retak karena tegangan-tegangan tarik pada beton masih lebih rendah dari *modulus keruntuban*. Beton dan serat kawat bendrat yang ditambahkan masih mampu untuk menahan beban dengan tekan pada bagian atas dan tarik pada bagian bawah sehingga seluruh penampang melintang pelat belum mengalami keretakan. Setelah beban terus ditambahkan hingga melampaui *modulus keruntuban*, terjadi retak pertama pada bagian tarik pelat.

Menurut pengamatan pada beton dengan tebal 3 cm mengalami retak pertama pada rata-rata beban sebesar 7,533 kN sedangkan beton dengan tebal 5 cm mengalami retak pertama pada rata-rata beban 11,467 kN. Retakan yang terjadi mengarah vertikal keatas dimulai dari sisi tarik pelat. Ketika beton telah retak maka beton tidak dapat menahan tegangan tarik sehingga kawat *wiremesh* mulai bekerja menahan tarik yang disebabkan oleh momen yang terjadi. Kawat *wiremesh* akan terus menahan beban dan mengalami pertambahan panjang. Tahap ini akan terus lanjut selama tegangan tekan pada serat bagian atas lebih kecil daripada setengah dari kuat tekan beton  $f_c$  dan selama tegangan kawat lebih kecil dari titik lelehnya. Ketika beban terus menerus ditambah sampai melampaui setengah dari kuat tekan beton  $f_c$ , retakan tarik akan merambat lebih keatas sampai akhirnya pembebanan sudah tidak dapat ditambah lagi dan beton mencapai tegangan lentur maksimumnya. Pada beton dengan tebal 3 cm mencapai tegangan maksimum pada rata-rata beban 13,63 kN sedangkan untuk beton dengan tebal 5 cm mencapai tegangan maksimum pada rata-rata beban 21,1 kN. Ketika melampaui batas maksimum maka beton sudah kehilangan kekuatannya dan akhirnya terjadi keruntuhan.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian, pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai kuat lentur rata-rata yang dihasilkan dari panel beton beragregat kasar plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* 10% dan serat baja 10 kg/m<sup>3</sup> yang diperkuat material *wiremesh* dengan ketebalan beton 3 cm secara teoritis adalah 110.439 Nmm sedangkan menurut hasil pengujian laboratorium adalah 376.667 Nmm.
- b. Nilai kuat lentur rata-rata yang dihasilkan dari panel beton beragregat kasar plastik *PET* dengan penambahan *silica fume* 10% dan serat baja 10 kg/m<sup>3</sup> yang diperkuat material *wiremesh* dengan ketebalan beton 5 cm secara teoritis adalah 316.178 Nmm sedangkan menurut hasil pengujian laboratorium 573.330 Nmm.

### **REFERENSI**

- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2847:2013, 2013, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-2462-1991, 2012, Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 03-4154-1996, 2012, Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Dengan Balok Uji Sederhana Yang Dibebani Terpusat Langsung. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 4431:2011, 2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Pembebanan Dua Titik Pembebanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), SNI 4431:1997, 1997, Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia (SNI), SNI 07-0371-1998, 1998, Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Arwin Amiruddin. 2014. Metode Retrofit Dengan Wiremesh Dan SCC Untuk Peningkatan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang. Jurnal Ilmiah. Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, Makassar.
- 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.
- 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.
- Pitra Ardhiatika. 2014. Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik, Kuat Lentur Dan Redaman Bunyi Pada Panel Dinding Beton Dengan Agregat Limbah Plastik PET. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Pratikto. 2010. Beton Ringan Beragregat Limbah Botol Plastik Jenis Pet (Polyethylen Terephthalate). Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta.
- Putri Dewantari Dkk. 2010. Analisa Tegangan Dan Regangan Dinding Panel Jaring Kawat Baja Tiga Dimensi Dengan Variasi Rasio Tinggi Dan Lebar ( $H_w/L_w$ ) Terhadap Beban Lateral Statik. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Ratna Widiyawati. 2011. Studi Kuat Tekan Beton Ringan Dengan Metode Rancang Campur Dreux-Corrise. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung, Lampung.
- 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.
- Sony Aria Wiryawan. 2007. Studi karakteristik agregat kasar ringan buatan dari limbah botol plastik polietylen terephthalate (PET) dan pengaruh agregat kasar ringan buatan tersebut terhadap sifat-sifat mekanis beton ringan. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Tjokrodimulyo, Kardiono, 1996, *Teknologi Beton*, Yogyakarta.
- Jack C. McCormac, 2003, *Desain Beton Bertulang*, Jakarta.