

# INOVASI HIGH-DENSITY CONCRETE MENGGUNAKAN LIMBAH BESI DAN FLY ASH (ABU TERBANG) SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA CAMPURAN BETON

Kadek Wahyu Adi Pratama<sup>1\*</sup>, Kenny Petranto Riwu Djo Naga<sup>1</sup>, Firnas Naufal

<sup>1</sup>Institut Teknologi Nasional Malang, Jl. Bendungan Sigura-Gura No. 2, Malang, Jawa Timur, Indonesia

\*Corresponding author, email: 1821082.kadek@gmail.com

doi: 10.17977/um068.v3.i12.2023.3

## Kata kunci

high density concrete  
limbah besi  
fly ash

## Abstrak

Perkembangan teknologi dan inovasi bahan bangunan terus meningkat, memungkinkan munculnya alternatif beton normal, seperti high density concrete (HDC) menggunakan limbah besi dan fly ash. Inovasi ini bertujuan menciptakan beton dengan kepadatan tinggi yang ramah lingkungan, mengurangi limbah dari masyarakat dan pabrik, serta menjadi alternatif bahan tambah pada agregat halus dan semen. Proses pembuatan HDC melibatkan persiapan material, termasuk pemeriksaan berat isi, analisis saringan agregat, kadar lumpur, kadar air, berat jenis, dan penyerapan agregat kasar serta halus, serta pengolahan limbah besi menjadi serbuk. Metode perancangan campuran beton menggunakan metode DoE (Department of Environment) berdasarkan SNI 03-2834-2000, mencakup penentuan kuat tekan rata-rata, faktor air semen, kadar air bebas, jumlah semen, persentase agregat halus dan kasar, serta komposisi campuran beton segar dan lapangan. Hasil pengujian pada tiga benda uji berbentuk silinder (15/30 cm) dan satu benda uji berbentuk kubus (15 cm × 15 cm × 15 cm) menunjukkan slump sebesar 22 cm. Berat isi beton segar berkisar antara 2508,139 Kg/m<sup>3</sup> hingga 2533,962 Kg/m<sup>3</sup>, sementara berat isi beton kering berkisar antara 2507,547 Kg/m<sup>3</sup> hingga 2530,189 Kg/m<sup>3</sup>. Pengujian berat jenis beton kering menunjukkan nilai 2,5, sedangkan kuat tekan benda uji mencapai 42,80 MPa hingga 46,54 MPa. Inovasi ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah besi dan fly ash dalam HDC dapat menghasilkan beton dengan kepadatan tinggi dan performa mekanik yang baik.

## 1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang memiliki banyak kelebihan, salah satunya mempunyai kuat tekan yang tinggi dan dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Beton juga memilih kekurangan, salah satunya yaitu terletak pada kuat lentur dan Tarik yang rendah. Seiring dengan perkembangan teknologi yang maju terutama dalam perancangan campuran beton, kini untuk membuat campuran beton tidak hanya menggunakan pasir, semen, krikil, dan air saja. Namun bisa dipadukan dengan serat atau limbah yang ada di lingkungan sekitar. Salah satu limbah yang dapat digunakan dalam campuran beton untuk inovasi high density concrete ini adalah limbah besi dan fly ash. Penggunaan limbah besi dan fly ash ini dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran untuk inovasi high density concrete yang dapat mengurangi penggunaan pasir dan semen.

Penelitian yang dilakukan oleh Qomariah, dkk (2 Agustus) pada jurnal Pemanfaatan Limbah Bubut Besi pada Beton Serat Ditinjau dari Kuat Tekan dan Kuat Lentur, pada penelitian ini bertujuan salah satunya untuk mengetahui kuat tekan dan kuat lentur pada beton dengan substitusi limbah bubuk besi dengan kadar 0%, 5%, dan 10%. Dari penelitian tersebut didapatkan kuat tekan rata-rata beton mengalami penurunan dari umur 7, 14, sampai 28 hari. Pada beton variasi 0% umur 7 hari 27,24 MPa, 14 hari 30,25 MPa, 28 hari 39,01 MPa. Kemudian pada beton variasi 5% umur 7 hari terdapat penurunan 48% yaitu 14,05 MPa. Pada beton umur 14 hari terdapat penurunan sebesar

37% yaitu 18,94 MPa. Pada beton umur 28 hari terdapat penurunan sebesar 37% yaitu 24,54 MPa. Kemudian pada beton variasi 10% pada umur 7 hari terjadi penuruna sebesar 74% yaitu 7,20 MPa. Pada beton umur 14 hari terjadi penurunan sebesar 55% yaitu 13,63 MPa. Pada umur beton 28 hari terjadi penuruna sebesar 44% yaitu 21,80 MPa. Secara keseluruhan beton mengalami penurunan kuat tekan. Pada pengujian kuat lentur beton didapatkan hasil bahwa beton dengan variasi 0% mendapatkan kuat lentur sebesar 3,87 MPa, kemudian pada beton variasi 5% terdapat kenaikan kuat lentur sebesar 9% yaitu 4,27 MPa. Kemudian pada beton variasi juga mengalami kenaikan 5% yaitu 4,07 MPa. Pada beton dengan kadar 5% terjadi kenaikan optimal dikarenakan proporsi serat bubuk besi dapat menyebar dan terikat ke dalam beton dengan merata serta tidak mengalami penggumpalan di dalam campuran beton. Kemudian dalam kadar 10% tidak bisa menahan lentur maksimal karena proporsi terlalu banyak dan terjadi penggumpalan serat bubuk besi ke dalam campuran beton.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh I Wayan Suarnita (2011) pada jurnal Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli, pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton dengan variasi jumlah fly ash 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan nilai kuat tekan untuk masing-masing variasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% sebesar 32,2718 MPa, 33,9137 MPa, 35,3291 MPa, 36,1783 MPa, 36,8011 MPa, dan 37,2541 MPa. Dari hasil yang diberikan terlihat bahwa semakin besar kadar fly ash yang digunakan, semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan menambahkan abu terbang ke dalam semen sebagai bahan tambah dan tanpa mengurangi proporsi semen akan meningkatkan unsur pengikat dalam semen yaitu silika ( $\text{SiO}_2$ ) sehingga kuat tekan yang dihasilkan meningkat.

Berdasarkan literatur yang ditinjau maka dalam penelitian ini penulis menggunakan limbah besi dan fly ash sebagai bahan tambah dalam high density concrete dengan kadar yang ditentukan pada masing-masing limbah sebesar 20%.

## 2. Metode

Metode pembuatan High Density Concrete ini terdiri dari beberapa tahap seperti:

### 2.1. Persiapan Material Penyusun *High Density Concrete*

Pada tahap ini merupakan tahap persiapan agregat yang dilakukan sebelum pembuatan benda uji yang terdiri dari:

- a. Pemeriksaan berat isi : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan berat isi agregat yang didefinisikan sebagai perbandingan antara material kering dengan volumenya.
- b. Analisa saringan agregat kasar dan halus : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat.
- c. Pemeriksaan bahan lewat saringan No. 200 : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat yang lolos saringan No. 200 dengan cara pencucian.
- d. Pemeriksaan kotoran organik : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan adanya kandungan bahan organik dalam agregat halus.
- e. Pemeriksaan kadar lumpur dalam agregat halus : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan presentase lumpur dalam agregat halus.
- f. Pemeriksaan kadar air agregat : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan kadar air agregat dengan cara pengeringan.
- g. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan "bulk dan apparent" specific gravity dan penyerapan (absorbsi) agregat kasar.
- h. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus : Tujuan dari percobaan ini adalah menentukan "bulk dan apparent" spesific gravity dan penyerapan agregat halus.

- i. Pengujian kehausan agregat (Abrasi Test) dengan menggunakan alat Los Angeles : Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang leboh kecil dari 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$ ) terhadap kehalusan menggunakan alat Los Angeles.
- j. Untuk limbah besi sebagai bahan tambah campuran agregat halus, didapatkan melalui pengepul besi dalam bentuk utuh, yang nantinya diolah menjadi serbuk yang lolos saringan no. 4 untuk campuran dalam agregat halus.
- k. Untuk fly ash diperoleh melalui pembelian di toko bangunan.

## 2.2. Perancangan Campuran Beton Menggunakan Metode DoE (Departement of Experiment)

Dalam hal ini untuk merancang campuran beton, digunakan metode DoE (*Departement of Enviroment*). Berdasarkan SNI 03 – 2834 – 2000 : Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Berikut langkah-langkah dalam merancang campuran beton metode DoE:

1. Menentukan kuat tekan rata-rata.
2. Menentukan faktor air semen (f.a.s).
3. Menentukan kadar air bebas.
4. Menentukan jumlah semen.
5. Menentukan presentase agregat halus.
6. Menentukan berat jenis beton segar.
7. Menentukan jumlah agregat kondisi SSD.
8. Menentukan komposisi campuran kondisi lapangan.

Dalam perhitungan campuran beton ini, ditentukan mutu beton  $f_c' = 40$  MPa, dengan menggunakan metode DoE tersebut didapatkan hasil Analisa komposisi sebagai berikut :

- a. Sebelum ditambahkan limbah besi dan fly ash sebagai campuran agregat halus dan semen

**Tabel 1. Proporsi Campuran Beton Sebelum Penambahan Limbah Besi dan Fly Ash**

Material	Hasil Perhitungan	Satuan
Semen (Pc)	554,054	Kg/m <sup>3</sup>
Pasir	625,992	Kg/m <sup>3</sup>
Batu Pecah/Krikil	981,178	Kg/m <sup>3</sup>
Air	218,776	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Jenis Beton Segar	2380	Kg/m <sup>3</sup>

- b. Setelah penambahan limbah besi sebagai campuran agregat halus, dan *fly ash* sebagai campuran pada semen. Dalam hal ini persentase penambahan campuran dalam agregat halus sebesar 20%, persentase penambahan *fly ash* pada campuran semen sebesar 20%, pengurangan air sebesar 5%, dan penambahan pasir sebesar 5%

**Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Setelah Penambahan Limbah Besi dan Fly Ash**

Material	Hasil Perhitungan	Satuan
Semen (Pc)	465,405	Kg/m <sup>3</sup>
Pasir (Penambahan 5%)	525,834	Kg/m <sup>3</sup>
Batu Pecah/Krikil	981,178	Kg/m <sup>3</sup>
Limbah Besi (20%)	125,198	Kg/m <sup>3</sup>
Fly Ash	110,811	Kg/m <sup>3</sup>
Air (Pengurangan 5%)	207,837	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Jenis Beton Segar	2416,26	Kg/m <sup>3</sup>

- c. Maka, dengan komposisi campuran di atas, dapat ditentukan kebutuhan dalam pembuatan benda uji. Dalam hal ini dibuat 3 buah benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15/30 cm dan 1 buah benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm

**Tabel 3. Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan Benda Uji *High Density Concrete***

Material	Kebutuhan Bahan	Satuan
3 Buah Benda Uji Berbentuk Silinder 15/30 cm		
Semen (Pc)	9,3	Kg
Pasir	10,5	Kg
Batu Pecah/Krikil	19,5	Kg
Limbah Besi (20%)	2,5	Kg
<i>Fly Ash</i>	2,2	Kg
Air	4,1	Kg
1 Buah Benda Uji Kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm		
Semen (Pc)	2	Kg
Pasir	2,2	Kg
Batu Pecah/Krikil	4,1	Kg
Limbah Besi (20%)	0,5	Kg
<i>Fly Ash</i>	0,5	Kg
Air	0,9	Kg

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil

Dari hasil beberapa pengujian benda uji yang dilakukan terdiri dari pengujian slump, pengujian berat isi beton segar (fresh concrete), pengujian berat isi beton kering (dried concrete), pengujian berat jenis, dan pengujian kuat tekan didapatkan hasil sebagai berikut:

##### 1. Pengujian Slump

Pada pengujian slump ini didapatkan nilai slump sebesar 22 cm.

##### 2. Pengujian Berat Isi Beton Segar (Fresh Concrete)

Pengujian berat isi beton segar (*fresh concrete*) ini didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar (*Fresh Concrete*)**

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Bekisting Benda Uji 1	11,84	Kg
Berat Bekisting Benda Uji 2	7,44	Kg
Berat Bekisting Benda Uji 3	10,72	Kg
Berat Bekisting + Benda Uji 1	25,20	Kg
Berat Bekisting + Benda Uji 2	20,87	Kg
Berat Bekisting + Benda Uji 3	24,01	Kg
Volume Wadah Ukur	0,0053	m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 1	2520,755	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 2	2533,962	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 3	2508,139	Kg/m <sup>3</sup>

Contoh perhitungan berat isi beton segar (fresh concrete) adalah sebagai berikut:

Sampel Pada Benda Uji 1

Diketahui:

- a. Berat Bekisting Benda Uji 1 = 11,84 Kg
- b. Berat Bekisting + Benda Uji 1 = 25,20 Kg
- c. Volume Wada Ukur = 0,0053 m<sup>3</sup>

Maka, berat isi beton segar (fresh concrete) adalah:

$$\text{Berat Isi Beton Segar} = \frac{\text{Berat Wadah Ukur Diisi Beton} - \text{Berat Wadah Ukur}}{\text{Volume Wadah Ukur}}$$

$$\text{Berat Isi Beton Segar} = \frac{25,20 - 11,84}{0,0053} = 2520,755 \text{ Kg/m}^3$$

### 3. Pengujian Berat Isi Beton Kering (Dried Concrete)

Pengujian berat isi beton kering (*dried concrete*) ini didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Isi Beton Kering (Dried Concrete)**

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Benda Uji 1	13,35	Kg
Berat Benda Uji 2	13,41	Kg
Berat Benda Uji 3	13,29	Kg
Volume Wadah Ukur	0,0053	m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 1	2518,868	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 2	2530,189	Kg/m <sup>3</sup>
Berat Isi Benda Uji 3	2507,547	Kg/m <sup>3</sup>

Contoh perhitungan berat isi beton kering (*dried concrete*) adalah sebagai berikut:

Sampel Pada Benda Uji 1

Diketahui:

a. Berat Benda Uji 1 = 13,35 Kg

b. Volume Wada Ukur = 0,0053 m<sup>3</sup>

Maka, berat isi beton kering (*dried concrete*) adalah:

$$\text{Berat Isi Beton Kering} = \frac{\text{Berat Benda Uji 1}}{\text{Volume Wadah Ukur}}$$

$$\text{Berat Isi Beton Kering} = \frac{13,35}{0,0053} = 2518,868 \text{ Kg/m}^3$$

### 4. Pengujian Berat Jenis pada Beton Kering (Dried Concrete)

Pegujian berat jenis pada beton kering (*dried concrete*) ini didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 6. Hasil Pengujian Berat Jenis pada Beton Kering (Dried Concrete)**

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Benda Uji di Udara	8,93	Kg
Berat Benda Uji di Dalam Air	5,36	Kg
Berat Jenis Beton	2,5	Kg

Contoh perhitungan berat jenis pada beton kering (*dried concrete*) adalah sebagai berikut:

Diketahui:

a. Berat Benda Uji di Udara = 8,93 Kg

b. Berat Benda Uji di Dalam Air = 5,36 Kg

Maka, berat jenis pada beton kering (*dried concrete*) adalah:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Benda Uji di Udara}}{(\text{Berat Benda Uji di Udara} - \text{Berat Benda Uji di Dalam Air})}$$

$$\text{Berat Jenis} = \frac{8,93}{8,93 - 5,36} = 2,5$$

5. Pengujian Kuat Tekan pada 3 Buah Benda Uji Silinder

Pada pengujian kuat tekan pada 3 buah benda uji silinder ini didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Keterangan	Tekanan Hancur	Luas Permukaan Benda Uji	Faktor Umur	Kuat Tekan pada Umur 28 Hari
Benda Uji 1	756 kN	17662,5 mm <sup>2</sup>	1	42,80 MPa
Benda Uji 2	802 kN			45,41 MPa
Benda Uji 3	822 kN			46,54 MPa

Contoh perhitungan kuat tekan pada benda uji silinder yang berumur 28 hari adalah sebagai berikut:

Sampel pada benda uji 1

Diketahui:

- a. Tekanan Hancur Benda Uji 1 = 756 kN
- b. Luas Permukaan Benda Uji = 17662,5 mm<sup>2</sup>
- c. Faktor Umur = 1

Maka, kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{\text{Tekanan Hancur} \times 1000}{\text{Luas Permukaan Benda Uji} \times \text{Faktor Umur}}$$

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{756 \times 1000}{17662,5 \times 1} = 42,80 \text{ N/mm}^2 = 42,80 \text{ MPa}$$

### 3.2. Pembahasan

Pemanfaatan limbah besi dan fly ash dalam system konstruksi merupakan ide untuk pengolahan limbah besi dan fly ash yang menimbulkan masalah bagi lingkungan. Seringkali besi yang tidak terpakai dibuang begitu saja dan bahkan mengganggu lingkungan sekitar. Pemanfaatan limbah besi maupun fly ash ini sebagai bahan campuran pada beton dapat mengurangi permasalahan pada lingkungan, memberikan inovasi baru dalam pemilihan material untuk campuran beton, dan memberi nilai ekonomis terhadap konstruksi. Pada penelitian ini digunakan limbah besi yang sudah diolah menjadi serbuk dan fly ash dengan kadar yang diberikan pada masing-masing bahan tambah tersebut sebesar 20%. Penggunaan limbah besi ini maupun fly ash memiliki keunggulan terhadap pembuatan beton itu sendiri, dimana menurut Apryanki Wahono, 2015 penggunaan limbah besi ini memberikan efek terhadap beton antara lain: mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan beton, menaikkan rasio antara kelenturan dan kuat tekan beton, mengurangi kekuatan tekan beton, memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna yang cerah pada beton, dan yang terakhir mengurangi porositas dan serangan klorida. Penggunaan fly ash dalam campuran beton ini juga memberikan efek terhadap beton itu sendiri, dimana menurut I Wayan Suarnita, 2011 penggunaan fly ash pada beton memberikan manfaat antara lain: meningkatkan kerapatan tekan beton, menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat), dan memperpanjang kekuatan tekan beton pada jangka Panjang.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dengan mutu beton yang direncanakan adalah  $f'c = 40$  MPa dengan berat jenis beton segar sebesar 2380 Kg/m<sup>3</sup>, didapatkan hasil bahwa pada pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder berukuran 15/30 cm ini tidak terlihat variasi yang terlalu berbeda jauh pada kuat tekan untuk masing-masing benda uji tersebut, dan memenuhi nilai kuat tekan dari yang direncanakan, hal ini dikarenakan efek penggunaan limbah besi dan fly ash yang memberikan pengurangan variasi nilai kuat tekan dan mempertinggi kekuatan tekan beton ini sendiri. Begitu juga pada hasil yang didapat dari pengujian berat isi beton segar maupun berat isi beton kering yang menunjukkan variasi nilai yang tidak terlalu jauh, nilai pada pengujian berat isi ini dapat dikategorikan benda uji tersebut termasuk ke dalam jenis beton berat karena nilai berat isi

beton tersebut lebih besar dari 2500 Kg/m<sup>3</sup>. Pada pengujian slump menunjukkan nilai slump yang tinggi hal ini akan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton itu sendiri. Penggunaan limbah besi dan fly ash sebagai bahan campuran high density concrete dapat diterapkan pada pembuatan struktur bangunan seperti alat pemecah gelombang (break water), dinding penahan tanah, pembuatan pondasi dermaga, dan struktur lain yang lazim menggunakan beton berat (high density concrete).

#### 4. Simpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap 3 buah benda uji berbentuk silinder berukuran 15/30 cm dan 1 buah benda uji berbentuk kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm dengan proporsi campuran yang telah ditetapkan dengan mutu rencana  $f'c = 40$  MPa didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Pada Pengujian Slump Didapatkan Nilai Slump Sebesar 22 cm
- b. Pada Pengujian Berat Isi Beton Segar (*Fresh Concrete*) Didapatkan Hasil:
  1. Berat Isi Benda Uji 1 = 2520,755 Kg/m<sup>3</sup>
  2. Berat Isi Benda Uji 2 = 2533,962 Kg/m<sup>3</sup>
  3. Berat Isi Benda Uji 3 = 2508,139 Kg/m<sup>3</sup>
- c. Pada Pengujian Berat Isi Beton Kering (*Dried Concrete*) Didapatkan Hasil:
  1. Berat Isi Benda Uji 1 = 2518,868 Kg/m<sup>3</sup>
  2. Berat Isi Benda Uji 2 = 2530,189 Kg/m<sup>3</sup>
  3. Berat Isi Benda Uji 3 = 2507,547 Kg/m<sup>3</sup>
- d. Pada Pengujian Berat Jenis pada Beton Kering (*Dried Concrete*) Didapatkan Berat Jenis pada Beton Kering (*Dried Concrete*) sebesar 2,5
- e. Pada Pengujian Kuat Tekan pada Benda Uji Silinder yang Berumur 28 Hari Didapatkan Hasil:
  1. Kuat Tekan Benda Uji 1 = 42,80 MPa
  2. Kuat Tekan Benda Uji 2 = 45,41 MPa
  3. Kuat Tekan Benda Uji 3 = 46,54 MPa

#### Daftar Rujukan

- Fansuri, S., & Diana, A. I. N. (2020). Pengaruh kuat tekan beton dengan menggunakan limbah serbuk besi sebagai admixture agregat halus. *Jurnal ilmiah mitsu (media informasi teknik sipil Universitas Wiraraja)*, 8(1), 26-32.
- Hadi, P. N., & Setiawan, A. A. (2019). Studi eksperimental penambahan limbah bubuk sebagai bahan substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Widyakala journal: journal of pembangunan Jaya University*, 6(1), 77-83.
- Hanggara, I., & MT, I. (2020). "pemanfaatan limbah bubuk besi pada beton serat ditinjau dari kuat tekan dan kuat lentur. *Prokons jur. Tek. Sipil*, 13(2), 93.
- Suarnita, I. W. (2011). Kuat tekan beton dengan aditif fly ash ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *Smartek*, 9(1).
- Oka, I. G. M. (2007). Optimalisasi pemanfaatan limbah baja sebagai beton berat (high density concrete). *Mektek*, 9(1).
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. SNI 03 – 2843 – 2000. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta