

## **Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Bahan Tambah Abu Batu** *Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Stone Ash Additive*

**Nanda Sugiarto<sup>1</sup>, Muhtar<sup>2</sup>, Adhitya Surya Manggala<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember  
*Jl. Karimata 40, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia*

E-mail : [sugiartonanda@gmail.com](mailto:sugiartonanda@gmail.com)

<sup>2</sup>Dosen Fakultas Teknik , Universitas Muhammadiyah Jember

E-mail : [muhtar@unmuhjember.ac.id](mailto:muhtar@unmuhjember.ac.id)

<sup>3</sup>Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

E-mail : [adhityasm@unmuhjember.ac.id](mailto:adhityasm@unmuhjember.ac.id)

### **Abstrak**

Dalam tinjauan ini abu batu digunakan sebagai bahan tambah beton. Pada penelitian ini digunakan abu batu dengan kadar 5% dari berat semen. Sampel yang digunakan adalah sampel berbentuk silinder dengan ukuran 15cm x 30cm dan balok dengan ukuran 10cm x 15cm x 100cm. Dengan mutu beton yang tersusun pada umur 28 hari menggunakan perbandingan 1 Semen : 2,4 Pasir (agregat halus) : 5 Kerikil ( agregat kasar) dengan nilai Slump 60-100mm dalam pengujian yang dilakukan dengan mesin CTM (Compressin Testing Machine) adalah uji tekan dan modulus elastisitas beton. Dengan melihat antara beton normal (tanpa penambahan abu batu) dan penambahan abu batu. Berdasarkan perencanaan balok beton bertulang dengan abu batu didapatkan kuat tekan sebesar 26,01 kN sedangkan balok beton bertulang tanpa abu batu didapatkan kuat tekan sebesar 22,06 kN dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kuat balok beton bertulang dengan abu batu lebih besar di bandingkan tanpa abu, ini dikarenakan abu batu dapat mengisi void dari balok beton bertulang tersebut. Namun dilihat dari grafik hubungan tegangan dan regangan balok beton bertulang tanpa abu batu lebih daktil dari pada balok beton bertulang dengan abu batu. Pola retak balok bertulang dengan abu batu dengan balok baton bertulang tanpa abu batu cenderung sama yaitu diawali oleh pola retak lentur lalu diikuti oleh pola retak geser.

**Kata kunci:** *Abu Batu, Kuat tekan, modulus elastisitas, daktilitas.*

### **Abstract**

*In this review, stone ash is used as a concrete additive. In this study, stone ash was used with a content of 5% by weight of cement. The sample used is a cylindrical sample with a size of 15cm x 30cm and a block with a size of 10cm x 15cm x 100cm. With the quality of concrete composed at 28 days using a ratio of 1 Cement: 2.4 Sand (fine aggregate) : 5 Gravel (coarse aggregate) with a Slump value of 60-100mm in tests carried out with a CTM (Compressin Testing Machine) machine is a compression test and the elastic modulus of concrete. By looking at the normal concrete (without the addition of rock ash) and the addition of rock ash. Based on the planning of reinforced concrete beams with stone ash, the compressive strength of 26.01 kN was obtained, while the reinforced concrete beams without ash obtained a compressive strength of 22.06 kN. From these results it can be concluded that the strength of reinforced concrete beams with stone ash is greater than without ash. , this is because rock ash can fill the voids of the reinforced concrete beams. However, seen from the stress and strain relationship graph, reinforced concrete beams without ash are more ductile than reinforced concrete beams with ash. The crack patterns of reinforced beams with ash and reinforced baton beams without ash tend to be the same, beginning with a flexural crack pattern followed by a shear crack pattern.*

**Keywords:** *Stone ash, compressive strength, modulus of elasticity, ductility.*

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Secara umum penyebab kerusakan jalan yang terjadi di daerah Kabupaten Jember ada berbagai penyebab yakni umur rencana jalan yang telah dilewati, genangan air pada permukaan jalan yang tidak dapat mengalir akibat drainase yang kurang baik, beban lalu lintas berulang yang berlebihan (*overloaded*) yang menyebabkan umur pakai jalan lebih pendek dari perencanaan. Perencanaan yang tidak tepat, pengawasan yang kurang baik dan pelaksanaan yang tidak sesuai dengan rencana yang ada. Selain itu minimnya biaya pemeliharaan, keterlambatan pengeluaran anggaran serta prioritas penanganan yang kurang tepat juga menjadi penyebab. Panas dan suhu udara, air dan hujan, serta mutu awal produk jalan yang jelek juga sangat mempengaruhi. Oleh sebab itu disamping direncanakan secara tepat jalan harus dipelihara dengan baik agar dapat melayani pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Beban kendaraan dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak roda berupa beban terbagi merata P0. Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar menjadi P1 yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas lapisan tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Disisi lain, faktor ekonomi penting juga untuk mengetahui mana yang lebih hemat antara perkerasan lentur beserta pemeliharaannya. Maka dari itu peneliti mencoba untuk membuat suatu perbandingan untuk mengetahui konstruksi perkerasan lentur. Karena penanganan pada ruas jalan tersebut hanya sebatas pemeliharaan, yaitu dengan perbaikan fungsional pada permukaan jalan yang rusak. Penanganan ini dirasa belum

cukup tepat karena upaya perbaikan yang dilakukan tidak bertahan lama sesuai dengan umur rencana. Oleh karena itu perlu diadakan kajian yang lebih dalam dengan tujuan dapat menentukan perbaikan yang tepat pada ruas jalan Kota Blater, Kabupaten Jember

### Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian penjelasan pada latar belakang masalah, maka perumusan penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan abu batu terhadap kapasitas balok beton dilihat dari *P<sub>ultimate</sub>*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan abu batu terhadap lendutan balok beton?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan abu batu terhadap pola retak balok beton?

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh penggunaan abu batu terhadap kapasitas beton.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan abu batu terhadap lendutan balok beton.
3. Menganalisis pola retak beton dengan menggunakan bahan tambahan abu batu.

### Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitiannya sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi untuk perkembangan ilmu dan teknologi tentang material yang digunakan untuk beton, sehingga dapat menunjang pengembangan masyarakat.
2. Dapat memberikan informasi kepada para akademisi dan industry konstruksi, bahwa limbah abu batu dapat digunakan sebagai bahan campuran beton yang ekonomis dan ramah lingkungan.
3. Pemanfaatan abu batu sebagai bahan substitusi parsial akan menurunkan ketergantungan penggunaan semen, sehingga pemanfaatannya dapat menaikkan nilai ekonomis beton.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Material Pembentuk Beton

Bahan pembentuk beton adalah semen Portland, agregat halus, agregat kasar, air, baja tulangan, serat fiber dan bahan tambah. Menurut Tjokromidulyo (1990), bahan pembentuk beton terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar dengan semen dan air sebagai pengikat

#### Bahan Pengganti

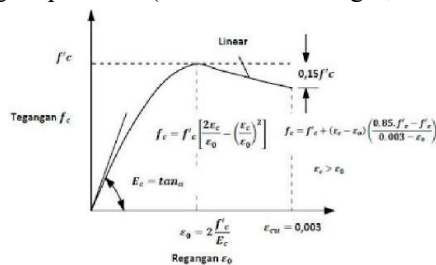
Menurut Yuza (2008), Berdasarkan komposisi mineralogi dan teksturnya, bahan baku batu yang digunakan pada industry pemecahan batu (Stone Crusher) merupakan jenis batu balsalt.

#### Slump

Slump merupakan tinggidalam adukan kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan di cabut

#### Model Kurva Regangan dan Tegangan Beton

Dari tegangan maksimum yang diperoleh melalui pengujian mesin akan memberikan kekuatan tarik pada beton sehingga batas tarik. Proses ini menimbulkan batas regangan makan didapat kurva tegangan regangan beton. Dari hasil pengujian, kurva dapat ditetapkan moderm matematika yang sangat terkemuka oleh seluruh ahli di dunia. Salah satunya penelitian model persegi oleh Hognestad untuk menentukan distribusi tegangan yang bersifat non-linier atau bagian parabola (James G.MacGregor, 1997).



**Gambar 1.** Tegangan Regangan Beton

Sumber : James G.Mac Gregor, 1997

#### Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Perhitungan kuat tekan sebagai berikut:

$$\text{Kuat Tekan (MPa)} = \frac{P}{A} \times 9,8$$

Keterangan :  $P$  = Beban Maksimum (kg)

$A$  = Luas Penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

$$S = K \left( \frac{c}{c + e + a} \right)^2$$

Keterangan :  $S$  = Kekuatan Beton

$K$  = Konstan

$c, d, a$  = volume semen, air dan udara

#### Kapasitas Balok

Nawy menyatakan analisis lentur balok beton bertulang rangkap menyangkut penentuan kuat nominal momen suatu penampang ( $M_n$ ) dapat ditulis dengan persamaan:

$$M_{n1} = A_{s1} f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{n2} = A'_{s} f_y (d - d')$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

Tinggi balok tegangan beton :

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0,85 f'_c b}$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta}$$

Dimana:  $M_n$  = kuat nominal momen lentur (kg.cm)

$A$  = tinggi balok tegangan beton (cm)

$C$  = letak garis netral (cm)

$d$  = jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik (cm)

$d'$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (cm)

#### Modulus Elastistas

Modulus Elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 8.5, rumus yang digunakan adalah:

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c}$$

#### Pola Retak

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, dimana terjadi pemisahan antara massa beton yang relative panjang dengan yang sempit. Secara visual retak nampak seperti garis. Retak pada struktur beton terjadi sebelum beton mengeras maupun setelah beton mengeras. Retak akan terjadi saat beton mulai mengeras tapi telah

dibebani, beton mengeras pada musim dingin, susut (*shrinkage*), penurunan (*settlement*) dan penurunan acuan (*formwork*).

### Umur Beton

Umur tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : faktor air-semen dan suhu perawatan (Tjokroadimuljo.K, 1996). Laju kenaikan kuat tekan beton ini mula-mula cepat, akan tetapi semakin lama laju kenaikannya itu makin lambat.

### Pengaruh Fly Ash Pada Beton

Fly ash adalah bahan pozzalanic dengan silika halus amorf atau bahan mengandung silika dan aluminus dengan jumlah kalsium yang bervariasi. Bahan tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh hidrasi semen portland menjadi menghasilkan berbagai hidrat kalsium-silikat dan kalsium aluminat hidrat.

### Berat Jenis

Berat jenis (*specific weight*) adalah rasio berat suatu benda terhadap volumenya. Satuan berat jenis adalah  $N/m^3$ . Rumusnya adalah

$$\gamma_s = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \left(\frac{m}{v}\right)g$$
$$\gamma_s = \rho g$$

## III. METODE PENELITIAN

### Data Material dan Bahan yang digunakan

Material dan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Semen
- Agregat Halus (pasir)
- Agregat Kasar (Kerikil)
- Abu Batu
- Air

### Perhitungan Mix Design

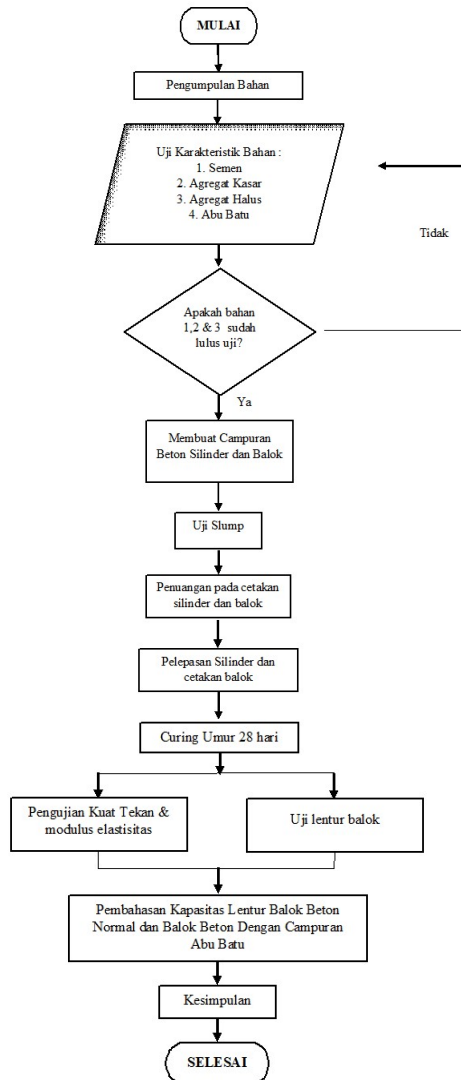
Mix Design atau perancangan campuran merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya. Karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. Mix design dimaksudkan untuk mengetahui komposisi campuran dari beton sesuai dengan mutu beton yang direncanakan.

### Alur Pembuatan Beton

- Seluruh bahan dan peralatan yang akan digunakan di persiapkan terlebih dahulu.
- Selanjutnya yaitu melakukan pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton yang meliputi: pengayakan abu batu hingga berbentuk butiran halus yang sama seperti semen dilakukan analisa saringan no. 200 sebagai bahan pengganti sebagian semen.
- Menentukan agregat halus dari zona 2 yang akan digunakan.
- Menentukan agregat kasar ukuran maksimum 40 mm hasil dari pencucian dari Laboratorium bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember
- Menentukan semen tipe 1 dari PCC Gresik
- Kemudian bahan campuran berupa agregat halus, agregat kasar, semen, air, abu batu ditimbang sesuai dengan perencanaan dalam mix design
- Setelah bahan campuran ditimbang, bahan-bahan tersebut di campur menjadi satu didalam mixer. Sampai campuran menjadi satu.
- Pada saat pencampuran, perlu dilakukan uji slump menggunakan alat slump test, dengan cara memasukkan beton segar kedalam kerucut 1/3 bagian dirojok 25 kali, 2/3 dirojok 25 kali dan 3/3 dirojok 25 kali, setelah itu di ratakan permukaan kerucut dan angkat perlahan-lahan lalu tunggu selama 30 detik, kerucut diangkat hitung penurunan yang terjadi pada beton segar.
- Setelah uji slump memenuhi perencanaan, beton segar dimasukkan kedalam cetakan silinder yang sebelumnya cetakan tersebut dilapisi oli.
- Beton uji dilepas jika sudah berumur 1 hari, kemudian beton dirawat (*curing*) dengan cara direndam kedalam bak yang berisi air
- Beton di keringkan 24 jam sebelumnya dilakukan pengujian kuat tekan, yaitu umur 3 hari
- Dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 3 hari
- Melakukan analisis untuk mendapatkan hubungan antara variable yang di teliti.

pengolahan data didapatkan data sebagai berikut.

### Bagan Alir atau Flowchart



**Gambar 2.** Flowchart

Sumber: Hasil Penelitian

#### IV. ANALISA PEMBAHASAN Penelitian Bahan

Berdasarkan hasil penilitan kadar air; berat jenis dan penyerapat agregat yang di tampilkan dalam lampiran, maka setelah dilakukan

**Tabel 1.** Hasil Pemeriksaan agregat halus

Nomer	Parameter	Kualitas/ Kuantitas
1	Kadar Air	0,06
2	Berat Jenis SSD	2,43
3	Berat Isi	1,43
4	Penyerapan	0,09

Sumber : Pengolahan data, 2022

**Tabel 2.** Hasil Pemeriksaan agregat kasar

Nomer	Parameter	Kualitas/ Kuantitas
1	Kadar Air	0,002
2	Berat Jenis SSD	2,57
3	Berat Isi	1,2
4	Penyerapan	0,004

Sumber : Pengolahan data, 2022

#### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pengujian kuat tekan silinder terdiri dari 4 sampel dengan mutu beton K-225 berumur 28 hari dapat dilihat:

**Tabel 3.** Hasil pengujian kuat tekan beton silinder

Sampel	Umur Beton	Berat	Beban Maksimum		Luas Penampang	Kuat Tekan Silinder
	Hari		kN	N		
1	28	12.68	323	323000	17662.5	18.29
2	28	12.63	320	320000	17662.5	18.11
3	28	12.30	338	338000	17662.5	19.14
4	28	12.87	340	340000	17662.5	19.25

Sumber : Pengolahan data, 2022

Berdasarkan hasil tabel diatas, pada setiap mutu rencana yaitu kuat tekan rata-rata syarat ketentuan mutu beton. Kuat tekan beton menggunakan abu batu lebih besar dari pada beton yang tidak menggunakan abu batu

#### Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas sangat bergantung pada pembacaan jarum dial, semakin teliti pembacaan maka hasil pengujian semakin akurat. Berikut adalah rumus perhitungan modulus elastisitas

$$E_c = w_c 1,5 \times 0,043 \sqrt{f_c}$$

**Tabel 4.** Hasil penilitian modulus elastisitas

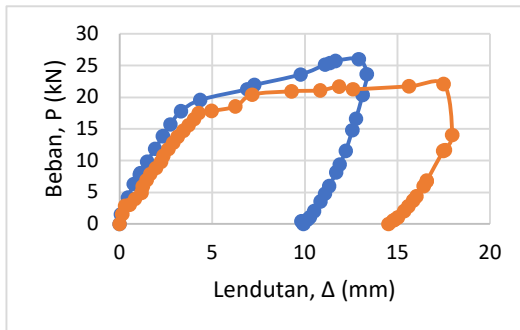
Sampel Beton	Wc (kg/m³)	Kuat tekan F'c (Mpa)	Modulus elastisitas Ec (Mpa)
--------------	------------	----------------------	------------------------------

Abu batu I	2320,75	19.14	2103,21
Abu batu II	2428,3	19.25	2257,55
Tanpa abu batu I	2392,45	18.11	2141,37
Tanpa abu batu II	2383,02	18.29	2139,26

Sumber : Pengolahan data, 2022

### Hubungan Beban dengan Ledutan

Nilai lendutan didapat dari hasil uji di laboratorium seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



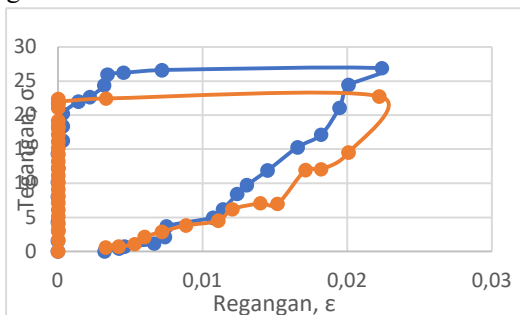
**Gambar 3.** Gabungan hubungan beban-lendutan

Sumber : Pengolahan data, 2022

Bedasarkan dari gambar di atas dapat di liat bahwa beton tanpa menggunakan abu batu lebih daktil dari pada beton menggunakan abu batu. Retak awal ditemukan 9,8 kN untuk beton yang menggunakan abu batu lebih besar 1,98 kN dari tanpa abu batu yaitu 7,9 kN, dan untuk  $P_{ultimate}$  beton yang menggunakan abu batudidapati 26,01 kN sedangkan tanpa abu batu didapati 22,06 kN

### Hubungan Tegangan dengan Regangan

Tegangan dapat dihitung menggunakan rumus  $\sigma = \frac{m.y}{I}$  dimana  $\sigma$  adalah tegangan  $M$  adalah momen lentur,  $y$  adalah jarak terhadap sumbu netral, dan  $I$  adalah momen inersia. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan antara tegangan dan regangan yang diperlihatkan pada gambar berikut.



**Gambar 4.** Gabungan hubungan tegangan-regangan

Sumber : Pengolahan data, 2022

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa beton menggunakan abu batu setelah retak awal cenderung mengalami kenaikan dari pada beton tanpa abu batu cenderung lebih landai.

### Pola Retak

Pola retak antara 2 beton bertulang tersebut cenderung sama yaitu di awali dengan retak lentur lalu di ikuti dengan retak geser.

## V. KESIMPULAN SARAN

### Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian dan analisa dapat diambil kesimpulan hasil pengujian yaitu:

1. Abu batu berpengaruh terhadap kapasitas balok beton bertulang. Hal ini dapat dilihat pada  $P_{cr}$  dan  $P_{ultimate}$  mengalami kenaikan dari 7,9 kN menjadi 9,8 kN terjadi kenaikan sebesar 1,18%, sedangkan pada  $P_{ultimate}$  22,06 kN menjadi 26,01 kN mengalami kenaikan sebesar 1,24%
2. Melihat dari grafik hubungan beban dan lendutan menunjukan daktilitas dari beton bertulang tanpa abu batu mempunyai daktilitas yang lebih tinggi dari pada menggunakan abu batu
3. Pola retak balok beton bertulang dengan abu batu mempunyai kecenderungan yang sama dengan pola retak balok beton bertulang tanpa abu batu dimana diawali pola retak lentur dan diikuti dengan pola retak geser

### Saran

Beberapa saran terkait dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan adalah:

1. Untuk penelitian lanjutan agar lebih memperhatikan serta lebih teliti saat mix dan pemadatan pada cetakan beton.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menerapkan pada paving block, batako, genteng beton dll..

## VI. DAFTAR PUSTAKA

Hong-Liang, Z. (2014). *Mix Proportion Design Method with multiple index for continuously reinforced concrete*. Xi'an.



- Dr. Wuryati Samekto, M.Pd dan Candra Rahmadiyanto, S.T. 2001. *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Kanisius
- MacGregor, J.G. (1997). "Reinforced Concrete : Mechanics and Design 3rd Ed." ,Prentice-Hall International, Inc.
- Yuza, Maryori. 2008. *Pemanfaatan abu batu sebagai powder pada self Compacting concrete (SCC)*. Universitas Negeri Jember. Jember.
- Sanjaya Aryandi, Laksmi Irianti, Hasti Riakara Husni. 2012. *Pemanfaatan Abu Batu Stone Crusher Terhadap Karakteristik Beton Polimer Dengan Bahan Resin Epoksi*. Universitas Lampung. Lampung
- Dulami, Nurul. 2013. *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Abu Batu Industri Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton*. Universitas Muhammadiyah Jember. Jember
- Muhtar. 2004. *Pemanfaatan Limbah Keramik Dinoyo Sebagai Material Panel Beton*. Universitas Brawijawa Malang. Malang
- Alfisyahrin, M. A. (2019, Desember). Analisis Perilaku Geser Balok Beton Bertulang dengan Metode Elemen Hingga Non-Linier.*
- Jeanicha Christiani Tampi, S. E. (2019). Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Pada Perawatan Temperatur Ruangan.*
- Muhtar. (2023). Performanced-based experimental study into quality zone of lightweight concrete using pumice aggregates.*
- Ahmad, H. H., Yanuar, S. F., & Hamduwibawa, R. B. (2022). *Studi Pengaruh Jenis Semen Pada Campuran Beton 1: 2: 3*. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 7(2), 74-77.
- Yanuar, S. F. (2019). *Performa Kuat Lentur (In-Plane) Panel Beton Limbah Onyx Sebagai Beton Ekspose* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Muhtar, M., Gunasti, A., Manggala, A. S., & PN, A. F. (2020). *Jembatan Pracetak Beton Bertulang Bambu Untuk Meningkatkan Roda Perekonomian Masyarakat Desa Sukogidri Ledokombo Jember*. *Jurnal Pengabdian Masyarakat IPTEKS*, 6(2), 161-170.