

# EVALUASI BLOK TEGANGAN TEKAN EKUIVALEN BALOK BETON BERTULANG AGREGAT LIMBAH BATU ONYX TULUNGAGUNG

Bobby Asukmajaya R.\*<sup>1</sup>, Edhi Wahjuni S.<sup>2</sup>, Wisnumurti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, Magister Teknik Sipil, Universitas Brawijaya Malang

<sup>2,3</sup>Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

Korespondensi : bobbyasukma@polinema.ac.id

## ABSTRACT

*Normal aggregate replacement to the onyx waste aggregate will certainly make the compressive strength and modulus of elasticity different, so it will affect the value of the compressive stress block equivalent ( $\beta_1$ ) as a result of the extent of the changing stress strain curve. In this study, trying to compare between the experimental  $\beta_1$  value of onyx concrete, while analytically the  $\beta_1$  value for normal concrete was obtained in accordance with SNI 2847 - 2019. To get the experimental  $\beta_1$  value from onyx concrete, it is made by looking for the compressive strength, elastic modulus and  $\epsilon_0$ , for later the stress strain curve of the concrete is made to find the experimental  $\beta_1$  value of the onyx concrete. The results were obtained if the average  $\beta_1$  value of 18 specimens of onyx coarse aggregate concrete with an average compressive strength of 32.92 MPa was 0.868 while the analytical  $\beta_1$  value based on SNI 2847-2019 was 0.839, This shows that the  $\beta_1$  value for concrete with other aggregates is different, so it needs to be checked experimentally.*

**Keywords:** *compressive stress block equivalent ( $\beta_1$ ), reinforced concrete beams, onyx waste aggregate.*

## 1. PENDAHULUAN

Kabupaten Tulung Agung dikenal sebagai wilayah tambang batu onyx di Jawa Timur, batu onyx dimanfaatkan warga sekitar untuk kerajinan tangan sebagai mata pencarian utama. Banyaknya warga yang memanfaatkan mata pencaharian ini membuat adanya limbah batu onyx dalam ukuran kecil yang cukup banyak, pemanfaatan limbah batu onyx perlu dikaji agar dapat digunakan oleh warga sekitar dengan baik dan optimal. Salah satu alternatif penggunaan limbah batu onyx ini adalah dengan memanfaatkan sebagai bahan campuran pada beton, yaitu sebagai agregat kasar. Beton dengan agregat kasar onyx tentunya berbeda dengan beton agregat normal, sehingga adanya pengaruh perbedaan agregat ini membuat parameter kekuatan beton menjadi berubah.

Perbedaan nilai parameter kekuatan antara beton normal dan beton onyx ini membuat perlu dilaksanakannya evaluasi pada perencanaan kekuatan beton, terutama jika diterapkan pada beton struktural. Pada tahap ini yang akan dievaluasi adalah jika beton onyx diaplikasikan pada balok beton bertulang, agar

didapatkan hasil analisis perhitungan kekuatan yang lebih baik.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Agregat Batu Onyx

Agregat kasar batu onyx sering digunakan sebagai bahan kerajinan tangan dan bahan arsitektural karena memiliki warna yang indah. Onyx adalah bahan dari alam yang terbuat dari mikrokristalin berupa kalsit kasar dan terdapat sebagian aragonite. Material tersebut terdiri dari material bertekstur serat dan juga lamellar sehingga disebut juga sebagai material mikrokristal yang sangat indah jika terkena cahaya. Susunan dari batuan mikrokristalin membuat sebagian memantulkan cahaya dan juga sebagian tembus cahaya yang bergantung pada zak oksida besi yang terkandung didalamnya, biasanya berwarna putih, kuning muda, dan warna indah lainnya [1].

### 2.2 Modulus Elastisitas Beton

Dalam Nawy [2], modulus elastisitas merupakan suatu angka yang digunakan sebagai parameter kekuatan atau ketahanan suatu material ketika mengalami deformasi

elastis ketika diberikan suatu gaya. Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dapat digunakan dengan cara mencari nilai kemiringan kurva pada diagram tegangan regangan pada daerah yang mengalami deformasi yang masih elastis. Jika melihat kurva tegangan regangan, pada tahap awal bentuk kurva tegangan regangan pada beton adalah lengkung ketika diberikan beban awal, sehingga nilai modulus young dapat ditetapkan dari garis singgung kurva tegangan regangan yang dilihat dari titik pusat kurvanya. Nilai yang didapatkan dari garis singgung awal dapat didefinisikan sebagai modulus tangen awal. Semntara bisa saja dibuat modulus tangen untuk setiap titik lain pada kurva tegangan – regangan. Besarnya kemiringan suatu garis Tarik lurus yang terdapat dalam kurva sebagai bagian dari hubungan antara titik pusat dengan nilai tegangan sebesar  $0,4 f_c'$  adalah disebut sebagai modulus sekan dari beton.

Tata cara perhitungan modulus elastisitas chord ( $E_c$ ) dapat dilihat dalam rumus yang terdapat dalam ASTM C469 – 02 [3] :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

dengan :

$$S_2 = 0,4 f_c'$$

$S_1$  = Tegangan ditarik garis regangan longitudinal.

$\epsilon_2$  = regangan longitudinal adalah sebesar  $0,4 f_c'$

### 2.3 Kurva Tegangan Regangan Pada Beton

Untuk membuat suatu gambar kurva tegangan regangan dalam beton, telah banyak peneliti yang mengembangkan cara tersebut. Dari data eksperimen yang nantinya digunakan sebagai pembentuk gambar kurva tegangan regangan.

Salah satu cara untuk membuat kurva tegangan regangan adalah oleh Popovics [4], dan selanjutnya diteruskan oleh penelitian yang dilakukan Thorensfeldt et al [5] dalam penelitian tersebut didapatkan rumusan untuk beton dengan kuat tekan 15 hingga 125 Mpa. Sehingga dapat dirangkum suatu rumusan antara grafik tegangan regangan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\frac{f_c}{f_c'} = \frac{n \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o}\right)}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o}\right)^{nk}} \quad (2)$$

dengan :

$f_c'$  = Kuat tekan beton dalam waktu 28 hari

$\epsilon_o$  = Regangan pada nilai tegangan puncak

$n$  = Nilai penyesuaian kurva berdasarkan modulus elastisitas  
 $= E_c / (E_c - E'c)$

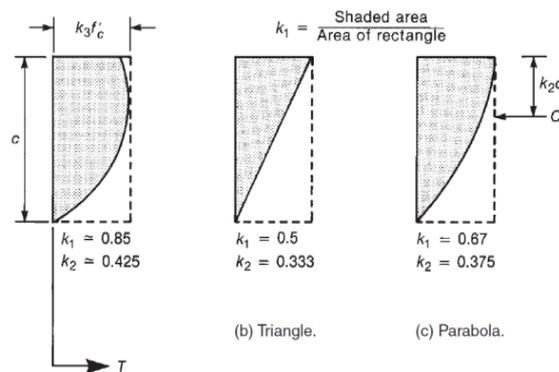
$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$E'c = f_c' / \epsilon_o$

$k$  = Faktor pengontrol kurva kenilai puncak dan turun kebawah; Untuk  $\epsilon_c / \epsilon_o$  kurang dari atau sama dengan satu maka  $k = 1$  ; untuk  $\epsilon_c / \epsilon_o > 1$  maka  $k = 0.67 + \left(\frac{f_c'}{\epsilon_o}\right)$  dengan satuan dalam psi.

### 2.4 Blok Tegangan Ekuivalen Beton

Menurut Whitney (1942), bentuk blok tegangan tekan ekuivalen pada penampang beton bertulang adalah kurva parabolic, namun menghitung luasan parabolic tersebut adalah susah sehingga perlu dilakukan penyederhanaan dengan cara mengalikan dengan nilai ekivalensi sehingga luasan dapat dihitung dengan cara mengalikan nilai persegi yang sangat mudah dan tanpa mengurangi ketelitian dalam perhitungan yang sudah ditetapkan.



**Gambar 1.** Penentuan Blok Segi Empat Ekuivalen Dari Nilai Kurva Sebenarnya

$k_3$  = Nilai rasio tegangan maksimum pada balok dan kuat tekan beton silinder ( $f_c'$ ) dalam umur 28 hari

$k_2$  = Rasio jarak antara serat tekan maksimum dan resultan kuat tekan ke garis netral

$k_1$  = Rasio antara luasan kurva dan juga persegi.

#### 2.4 Nilai $\beta_1$ sesuai dengan SNI 2847-2019

SNI 2847 – 2019 secara khusus membahas tentang persyaratan beton secara struktural untuk bangunan gedung, dalam SNI tersebut nilai  $\beta_1$  dijelaskan adalah sebagai faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi yang ekuivalen dengan tinggi sumbu netral, dalam peraturan tersebut dijelaskan nilai  $\beta_1$  berdasarkan besaran  $f_c'$  dari beton.

**Tabel 1.** Nilai Ketetapan  $\beta_1$

$f_c', \text{MPa}$	$\beta_1$
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
$f_c' \geq 55$	0,65

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pengujian Material

Untuk mendapatkan parameter kekuatan dalam proses perancangan kekuatan balok beton bertulang maka perlu dilaksanakan uji material yang terdiri dari :

**Tabel 2.** Daftar Pengujian Material

No	Nama Pengujian Material
1	Analisis Ayakan Agregat
2	Berat Jenis Agregat
3	Berat Isi Agregat
4	Kadar Air Agregat
5	Absorpsi Agregat

#### 3.2 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

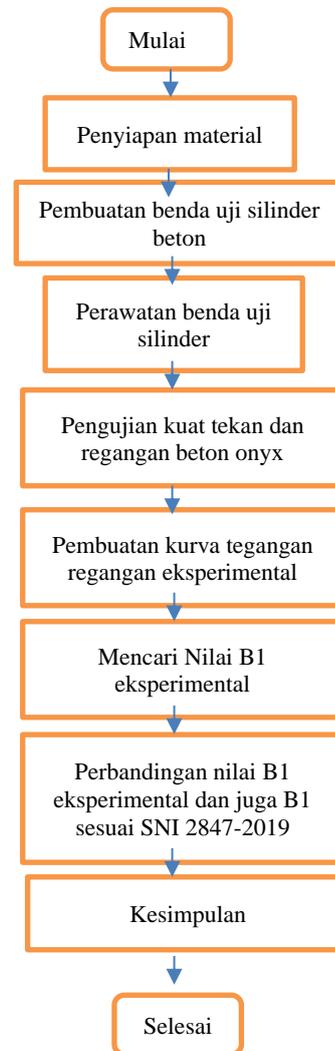
Setting alat kuat tekan yang telah diberi ekstensometer atau alat pembaca perpendekkan dibaca untuk nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai regangan yang terjadi, sesuai ketika beton diuji tekan, dan hasil yang didapatkan adalah sesuai dengan jumlah spesimen uji tekan yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu 18 buah untuk masing – masing beton normal dan beton onyx. Berikut adalah detail jumlah beton :

**Tabel 3.** Jumlah Benda Uji Kuat Tekan Beton

No	Benda Uji	Jumlah
1	Beton Onyx	18

#### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data dimulai dari analisis bahan yang digunakan, mulai dari agregat kasar dan agregat halus. Setelah benda uji baik itu silinder dan balok telah selesai disiapkan dengan kuat mutu rencana 32 MPa dan telah melewati masa curing 28 hari data awal yang diambil adalah uji tekan beton yang didalamnya juga didapatkan regangannya, sehingga didapatkan data awal kurva tegangan regangan pada beton normal dan beton onyx.



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pada pengujian kuat tekan beton agregat batu onyx digunakan total 18 benda uji silinder. Agar didapatkan juga nilai regangan beton maka ketika proses pengujian kuat tekan, silinder diberikan alat ukur regangan ekstensometer, fungsinya adalah mendapatkan regangan puncak ketika beton mencapai  $f_c'$  ( $\epsilon_0$ ). Regangan puncak ( $\epsilon_0$ ) digunakan sebagai parameter perhitungan yang dipakai dalam analisis blok tegangan tekan ekuivalen masing – masing benda uji.

Modulus elastisitas beton onyx dihitung dari data tegangan dan regangan yang telah didapatkan dari uji kuat tekan, dimana pencatatan data dilakukan tiap kenaikan beban sebesar 10 KN. Setelah data selesai dicatat, langkah selanjutnya adalah memasukkan data dalam bentuk kurva sesuai dengan kenaikan beban yang telah ditetapkan, sehingga didapatkan parameter analisis modulus elastisitas dengan baik sesuai dengan ASTM C469. Berikut adalah nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton limbah batu onyx :

**Tabel 4.** Rekapitulasi Data Perhitungan Modulus Elastisitas Beton Normal

Nama benda uji	Kuat tekan ( $f_c'$ ) MPa	$E_c$ (MPa)
RC-O1-1	31,78	19725,60
RC-O1-2	37,56	20547,83
RC-O2-1	32,94	38271,66
RC-O2-2	27,56	34138,61
RC-O3-1	35,02	35569,76
RC-O3-2	31,20	14714,37
RC-O4-1	34,67	31125,63
RC-O5-1	32,94	27622,51
RC-O6-1	32,36	20206,66
RC-O6-2	32,94	27344,17
RC-O7-1	37,27	18880,11
RC-O7-2	31,72	34153,86
RC-O8-1	33,86	32165,32
RC-O8-2	27,79	39697,49
RC-O9-1	32,53	18752,81
RC-O9-2	31,49	39383,22
RC-O10-1	32,99	17749,32
RC-O10-2	35,88	17873,24
Rata – rata	32,92	27106,79

Dari data kuat tekan diatas didapatkan nilai kuat tekan untuk 18 benda uji adalah sebesar 32,92 MPa sesuai dengan yang direncanakan dalam mix design adalah 32 MPa, sementara nilai modulus elastisitas yang didapatkan adalah sebesar 27106,79 MPa data ini digunakan untuk mendapatkan nilai blok tegangan segi empat ekuivalen yang didapatkan dalam rumus.

### 4.2 Analisis Blok Tegangan Tekan Ekuivalen

Dalam menganalisis blok tegangan tekan ekuivalen yang baru dibutuhkan data sesuai dengan rumus untuk mencari kurva tegangan – regangan yang baru, data yang dibutuhkan adalah  $f_c'$  (kuat tekan beton umur 28 hari),  $\epsilon_0$  (regangan puncak kekuatan beton),  $\epsilon_{cu}$  (regangan *ultimate* beton) dan  $E_c$  modulus elastisitas beton.

Data – data didapatkan dari data asli parameter beton yang sudah didapatkan dan juga data dari sumber yang lain, untuk nilai  $f_c'$ ,  $\epsilon_0$ , dan  $E_c$  didapatkkan dari pengujian kuat tekan yang didapatkan dari pengujian sebelumnya, sementara nilai  $\epsilon_{cu}$  diambil nilai regangan dari 85% tegangan tegangan puncak. Berikut ini adalah salah satu contoh cara untuk menentukan blok tegangan tegangan ekuivalen dari beton RC-O1-2:

Data – data awal :

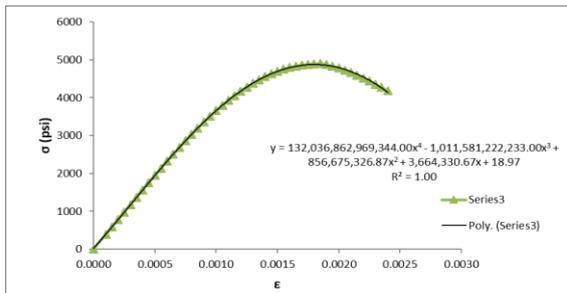
- $0,9 \times F_c' = 0,9 \times 7,56 = 33,8 \text{ MPa}$   
 $= 4902,75 \text{ psi}$
- $E_c = 27106,79 \text{ MPa} = 39331514,61 \text{ psi}$
- $\epsilon_0 = 0,00186$
- $\epsilon_{cu} = 0,00240$

Analisa sesuai dengan rumus :

$$f_c = f_c' x \frac{n \left( \frac{E_c}{\epsilon_0} \right)}{n - 1 + \left( \frac{E_c}{\epsilon_0} \right)^{nk}}$$

- $E_c' = \frac{0,9 \times f_c'}{\epsilon_0} = \frac{33,8}{0,00186} = 18168,35 \text{ MPa}$   
 $= 3931514,608 \text{ psi}$
- $n = \frac{E_c}{E_c - E_c'} = 3,032$
- $K1 = 1$
- $K2 = 0,67 + \frac{0,9 f_c' (\text{psi})}{9000} = 0,67$

Dari rumus didapatkan besarnya tegangan tiap regangan yang telah ditentukan, regangan yang ditentukan adalah kelipatan 0,0005 sehingga didapatkan kurva seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Kurva Tegangan Regangan Beton RC-O1-2

Dari kurva tersebut didapatkan persamaan  $y = 132,036,862,969,344.00x^4 - 1,011,581,222,233.00x^3 + 856,675,326.87x^2 + 3,664,330.67x + 18.97$ , sehingga :

Mencari luas kurva tegangan regangan RC-N1-1:

Misal :  $y = fc$  ;  $x = \epsilon_c$  maka,

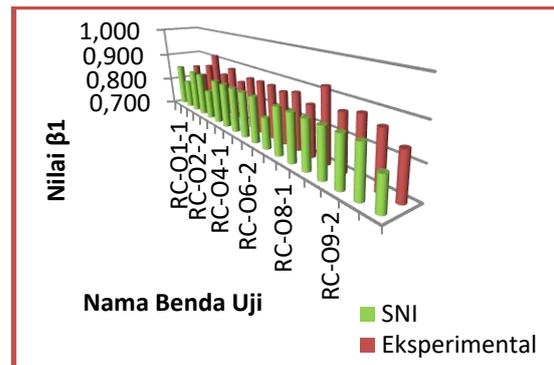
$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \int_0^{\epsilon_{cu}} y \\ &= \int_0^{\epsilon_{cu}} 132,036,862,969,344.00x^4 - \\ &\quad 1,011,581,222,233.00x^3 + \\ &\quad 856,675,326.87x^2 + \\ &\quad 3,664,330.67x + 18.97 \end{aligned}$$

$$\text{Luas} = 8,20$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{\text{Luas Kurva}}{0.85 \times fc \times \epsilon \times \epsilon_{cu}} \\ &= \frac{8,20}{0.85 \times 4902,75 \text{ psi} \times 0,0024} = 0,820 \end{aligned}$$

**Tabel 5.** Nilai Blok Tegangan Tekan Ekuivalen Beton Limbah Onyx (RC – O)

Nama	fc'(MPa)	$\beta_1$	$\beta_1$ SNI
RC-O1-1	31,78	0.846	0,850
RC-O1-2	37,56	0.820	0,800
RC-O2-1	32,94	0.867	0,850
RC-O2-2	27,56	0.914	0,850
RC-O3-1	35,02	0.853	0,800
RC-O3-2	31,20	0.884	0,850
RC-O4-1	34,67	0.848	0,850
RC-O5-1	32,94	0.872	0,850
RC-O6-1	32,36	0.873	0,850
RC-O6-2	32,94	0.873	0,850
RC-O7-1	37,27	0.867	0,800
RC-O7-2	31,72	0.878	0,850
RC-O8-1	33,86	0.857	0,850
RC-O8-2	27,79	0.922	0,850
RC-O9-1	32,53	0.870	0,850
RC-O9-2	31,49	0.882	0,850
RC-O10-1	32,99	0.866	0,850
RC-O10-2	35,88	0.836	0,800
Rata - rata	32,92	0.868	0,839



**Gambar 4.** Diagram Perbandingan Nilai  $\beta_1$  Eksperimental dan Juga Sesuai Dengan SNI 2847 -2019

Dari data yang terdapat dalam **Tabel 5** nilai rata – rata ( $\beta_1$ ) yang didapatkan dari hasil eksperimental adalah sebesar 0,868 sementara nilai ( $\beta_1$ ) yang didapatkan sesuai dengan analisa SNI 2847-2019 adalah sebesar 0,839 sehingga dapat disimpulkan jika nilai yang didapatkan dari SNI lebih kecil jika diterapkan untuk beton dengan agregat yang berbeda, karena diketahui juga nilai modulus elastis beton dengan agregat onyx lebih besar dibandingkan dengan yang terdapat dalam SNI.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah hasil kesimpulan dari penelitian tentang evaluasi blok tegangan tekan ekuivalen ( $\beta_1$ ) pada balok beton bertulang dengan limbah batu onyx :

1. Nilai blok tegangan tekan ekuivalen beton ( $\beta_1$ ) eksperimental dari beton dengan agregat kasar limbah batu onyx adalah sebesar 0,868 dengan kuat tekan rata – rata sebesar 32,92. Sementara nilai ( $\beta_1$ ) untuk beton dengan kuat tekan yang sama sesuai dengan SNI 2847-2019 adalah sebesar 0,839.
2. Nilai ( $\beta_1$ ) yang lebih kecil pada SNI menunjukkan jika terdapat beberapa kemungkinan hal ini dapat terjadi, pertama dikarenakan adanya factor reduksi kekuatan oleh peraturan, kedua adanya perbedaan karakteristik antara agregat kasar pada umumnya dengan agregat kasar limbah batu onyx yang menyebabkan luasan kurva menjadi berbeda.

## 5.2 Saran

Agar penelitian selanjutnya tentang evaluasi blok tegangan tekan ekuivalen dapat dilaksanakan dengan lebih baik maka terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. *Mix Design* yang digunakan dalam penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan variasi berat campuran agregat kasar, agregat halus, semen dan pasir dengan berat yang benar – benar sama sehingga mendapatkan perbandingan beton dengan jenis campuran berberda dengan lebih baik.
2. Efek kekangan tulangan berpengaruh pada blok tegangan tekan ekuivalen ( $\beta_1$ ) balok dengan tulangan rangkap yang terdapat sengkang sebagai tulangan gesernya, tentunya penelitian ini dapat dilanjutkan dengan memperhatikan efek kekangan dengan agregat beton yang berbeda.
3. Dengan penelitian yang sama berusaha untuk mencari rumusan blok tegangan tekan ekuivalen ( $\beta_1$ ) baru dengan efek

perubahan nilai modulus elastisitas yang berbeda akibat perbedaan material pembentuk beton maupun pembeda yang lainnya, karena modulus elastisitas yang berbeda dapat menghasilkan efek nilai ( $\beta_1$ ) yang berbeda.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marble Institute of America, *Marble and Onyx*, An except from the dimension stone design manual version VIII, Ohio, 2016.
- [2] Nawy, Edward G, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Bandung , 1998.
- [3] ASTM C469-94, *Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, USA, 2002.
- [4] Popovics, S., A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve for Concrete, *Cement and Concrete Research*, V. 3, No. 5, 1973, pp. 583-599.
- [5] Departemen Pekerjaan Umum. 2019. SNI-2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU