

PENGARUH LIMBAH BATU *ONYX* PENGGANTI AGREGAT KASAR BETON TERHADAP LENDUTAN (DEFLEKSI) BALOK BETON BERTULANG

(The Effect of Onyx Stone Waste as Substitute of Coarse Aggregate of Concrete Against Reinforced Concrete Beam Deflection)

Achmad Yusar Dzakwan, Wisnumurti, Edhi Wahyuni S
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: achmadyusardzakwan@gmail.com

RINGKASAN

Agregat kasar merupakan bahan material penyusun beton dengan kebutuhan volume paling besar dalam campurannya yakni sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Proses mendapatkan batu pecah (kerikil) dengan penambangan disungai mengakibatkan potensi erosi dan terjadinya banjir. Tulung Agung merupakan kabupaten sentra pengrajin batu *onyx*, khususnya di Kecamatan Campur Darat, Desa Gamping. Limbah pecahan *onyx* yang dihasilkan dari perusahaan besar pengrajin *onyx* setiap harinya mencapai 500 kg. Penduduk Gamping sampai saat ini belum mengolah limbah batu *onyx* secara optimal, salah satu alternatif yaitu dengan memanfaatkan limbah batu *onyx* sebagai agregat kasar beton. Beton dengan agregat limbah batu *onyx* dengan beton normal mempunyai karakteristik yang beda, tentunya ada pengaruh perbedaan hasil dalam pengujian khususnya pada uji pembebanan beton yang bertujuan untuk mengetahui kualitas beton tersebut yang ditinjau dari hasil lendutan (defleksi) pada beton dengan campuran batu *onyx* dan beton normal.

Pada penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang limbah *onyx*. Penelitian yang dilakukan dengan pembuatan benda uji silinder dan balok beton bertulang dengan dimensi 0,15 x 0,25 x 2 meter. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan compression machine. Serta pengujian lentur dengan dibebani secara berangsur hingga mencapai beban maksimum. Selanjutnya dilakukan pengamatan lendutan pada balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang limbah *onyx*. Dari hasil pengamatan dilakukan analisis data secara deskriptif, teoritis dan uji hipotesis (statistik) T-test.

Hasil pengujian yang dilakukan kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar dari kuat tekan rata – rata beton limbah *onyx* yaitu sebesar 7.858 %. Lendutan pada balok beton bertulang dengan menggunakan limbah *onyx* dan kerikil pada tiap daerah grafik beban-lendutan cenderung mengalami perbedaan pada nilai lendutannya yakni lebih kecil lendutan yang didapatkan dari balok normal daripada balok dengan menggunakan limbah *onyx*. Pada daerah elastis dan kondisi leleh pada balok beton bertulang dengan limbah *onyx* memiliki kecenderungan mampu menahan beban yang lebih besar daripada balok beton bertulang normal dan pada daerah pasca-serviceability yakni pada beban maksimum balok normal cenderung dapat menahan beban yang lebih besar daripada balok beton bertulang dengan menggunakan limbah *onyx*. Dari analisa teoritis pada beban yang sama (P= 1000kg), pada balok beton bertulang normal memiliki nilai lendutan rata-rata yang lebih kecil, yakni sebesar ($\delta = 0,1557$ mm), sedangkan balok beton bertulang dengan menggunakan limbah *onyx* memiliki nilai lendutan rata-rata sebesar ($\delta = 0,1622$ mm). Dari uji T-test mendapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan antara balok beton bertulang yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan yang menggunakan batu kerikil terhadap lendutan (defleksi) pada balok.

Kata Kunci: beton bertulang, material beton, limbah batu *onyx*, lendutan (defleksi).

ABSTRACT

Coarse aggregate are materials constructing the concrete with the largest volume requirement in the mixture of about 60% to 80% by volume of aggregate. The process of getting a sharp burst (pebble) with mining in the river resulted in the potential for erosion and flooding. Tulungagung is the center district of onyx stone craftsmen, especially in Campur Darat Sub-district, Gamping Village. Shards onyx waste generated from craftsmen onyx big company reaches 500 kg/day. Until now, Gamping Resident have not treated the waste optimally, one of the alternative is by utilizing onyx stone waste as coarse aggregate concrete. Concrete with onyx stone waste aggregate with normal concrete has different characteristics. There is difference results influence in testing especially on loading concrete test to know the quality concrete which is evaluated from deflection result on the concrete with onyx stone mixture and normal concrete.

This research created two type object test, there are Normal Reinforced Concrete and Onyx Waste Reinforced Concrete. This Research conducted with manufacture cylinder and reinforced concrete beam with dimension 0.15 x 0.25 x 2 meters as object test. Strong press test with compression machine. Then banding test with loads gradually until reach the maximum load. Next, do deflection observation on Reinforced Concrete Normal and Reinforced Concrete Onyx beams. From the observation result then do analysis of data descriptive, theoretical and test hypothesis (statistics) T- test.

The test results that performed by average compressive strength of normal concrete is bigger than average compressive strength of concrete onyx amounting to 7.858%. Deflection on reinforced concrete beams using onyx and gravel on each of the load-deflection graph areas tended to differ on their deflection values is smaller deflections obtained from normal beams than blocks using onyx waste. In the elastic region and the melting conditions in reinforced concrete beams with onyx waste have a tendency to withstand larger loads than normal reinforced concrete beams and in the post-serviceability areas where the maximum load of normal beams tends to withstand larger loads than reinforced concrete beams with using the onyx waste. From the theoretical analysis at the same load ($P = 1000\text{kg}$), on normal reinforced concrete beams have a smaller mean deflection value of ($\delta = 0.1557\text{ mm}$), whereas reinforced concrete beams using the onyx waste has an average deflection value of ($\delta = 0.1622\text{ mm}$). There is differences result from T-test about beam deflection between the reinforced concrete beams which use onyx stone waste with reinforced concrete beams which use gravel.

Keywords: reinforced concrete, concrete materials, onyx stone waste, and deflection.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan pesatnya pembangunan infrastruktur. Pembangunan infrastruktur tentunya tidak lepas dengan penggunaan struktur beton yang merupakan salah satu konstruksi utama dalam suatu bangunan. Dalam penggunaannya struktur beton selalu mengalami perkembangan dan peningkatan permintaan akan kebutuhan material pembentuknya, yakni semen, agregat kasar, agregat halus, dan air.

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya komponen, pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume

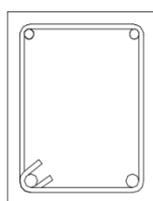
agregat. Agregat memegang peran penting dalam mengisi volume beton, salah satunya adalah agregat kasar yang umumnya menggunakan kerikil. Kerikil biasanya didapatkan di daerah aliran sungai, namun jika kerikil dieksploitasi terus menerus untuk kebutuhan komersil maka berpotensi terjadi banjir, erosi, dan pengendapan sedimen pada daerah aliran sungai karena batu kali pada awalnya berfungsi untuk mengurangi kecepatan dari arus. Sehingga perlu adanya solusi alternatif penggunaan material agregat kasar untuk memenuhi kebutuhan beton struktural.

Tulungagung merupakan kabupaten sentra pengrajin batu *onyx*, khususnya di Kecamatan Campur Darat, Desa Gamping dilihat dari aktivitas masyarakat yang pada umumnya bermata pencaharian sebagai pengrajin batu *onyx*. Hasil kerajinan batu *onyx* Desa Gamping terkenal di Indonesia hingga mampu merambah pasar internasional. Banyaknya penggunaan batu *onyx* untuk kebutuhan pengrajin tentunya menghasilkan limbah batu *onyx* dalam jumlah banyak juga. Sehingga perlu adanya penelitian untuk mengkaji penggunaan batu *onyx* secara optimal. Solusi alternatif yang bisa ditawarkan adalah memanfaatkan hasil limbah batu *onyx* menjadi material campuran beton, yakni sebagai agregat kasar. Beton dengan agregat limbah batu *onyx* dengan beton normal mempunyai karakteristik yang beda, tentunya ada pengaruh perbedaan hasil dalam pengujian khususnya pada uji pembebanan beton yang bertujuan untuk mengetahui kualitas beton tersebut yang ditinjau dari hasil lendutan (defleksi) pada beton dengan campuran batu *onyx* dan beton normal.

METODE PENELITIAN

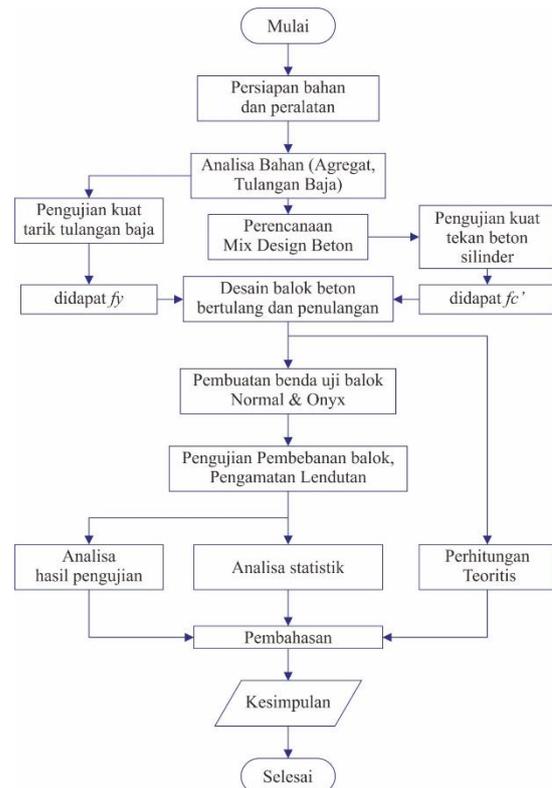
Adapun benda uji yang dibuat dan diteliti:

1. Pengujian kuat tekan pada beton yaitu 15 buah beton silinder agregat normal dan 15 buah beton silinder agregat *onyx*.
2. Jumlah benda uji balok dengan ukuran 15 cm x 25 cm x 200 cm yang digunakan adalah 10 untuk masing – masing beton agregat normal dan beton agregat *onyx* dengan cara pembebanan yang digunakan adalah *four point loading*.



Dimensi 0,15x0,25x2 m
 Tulangan utama bawah
 2- ϕ 12
 Tulangan Geser
 Φ 8 - 150

Gambar 1 Gambar Penampang



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian beton keras yaitu kuat tekan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan setelah beton berusia 28 hari, dengan menggunakan alat “*Compression Testing Machine*”

Tabel 1 Kuat Tekan Beton Normal

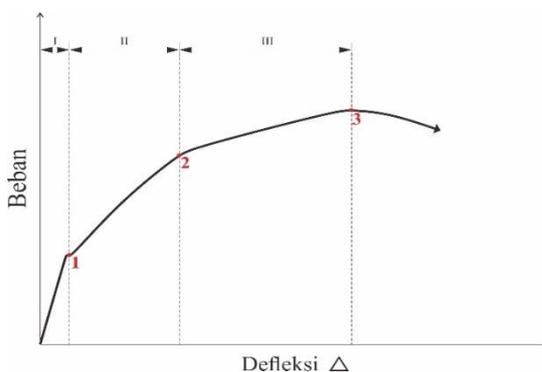
No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	N1-S1	28	13,25	30,80	
2	N1-S2	28	13	25,77	
3	N2-S1	28	13,15	30,91	
4	N3-S1	28	13,05	23,11	
5	N4-S1	28	13	31,78	
6	N5-S1	28	13	40,16	
7	N5-S2	28	13,25	43,68	
8	N6-S1	28	13,65	41,78	
9	N6-S2	28	13,3	30,11	35,72
10	N7-S1	28	13,2	38,77	
11	N7-S2	28	13,15	37,67	
12	N8-S1	28	13,1	37,56	
13	N8-S2	28	13,6	39,87	
14	N9-S1	28	13,25	38,71	
15	N10-S1	28	13,05	41,03	
16	N10-S2	28	13	39,87	

Tabel 2 Kuat Tekan Beton *Onyx*

No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	O1-S1	28	12,5	31,78	32,92
2	O1-S2	28	13,15	37,56	
3	O2-S1	28	13,05	32,94	
4	O2-S2	28	12,9	27,56	
5	O3-S1	28	13,15	35,02	
6	O3-S2	28	13,1	31,20	
7	O4-S1	28	13,35	34,67	
8	O5-S1	28	13,2	32,94	
9	O6-S1	28	12,9	32,36	
10	O6-S2	28	13	32,94	
11	O7-S1	28	12,9	37,27	
12	O7-S2	28	13,05	31,72	
13	O8-S1	28	13,25	33,86	
14	O8-S2	28	13,25	27,79	
15	O9-S1	28	13,2	32,53	
16	O9-S2	28	13	31,49	
17	O10-S1	28	13	32,99	
18	O10-S2	28	13,2	35,88	

Dari tabel 1 dan 2 didapat hasil nilai perbandingan antara kuat tekan beton normal dan *onyx*, dimana kuat tekan beton normal rata – rata yaitu sebesar 35,72 Mpa dan untuk beton dengan agregat limbah *onyx* nilai kuat tekan rata – rata sebesar 32,92 Mpa.

Pengamatan lendutan pada balok beton bertulang ditinjau dari tiga daerah perilaku kurva trilinear beban-lendutan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Beban-lendutan

Dari Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa Daerah I merupakan taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak dan diakhiri dengan terjadinya retak

pertama pada titik 1, Daerah II merupakan taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya dan diakhiri dengan terjadi leleh pertama kali dari balok tersebut pada titik 2, Daerah III merupakan taraf pasca-serviceability dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan leleh dan diakhiri dengan terjadinya lendutan pada beban maksimum (ultimate) pada titik 3.

Hasil pengamatan balok beton bertulang normal didapatkan nilai rata-rata lendutan pada titik 1 sebesar 1,0462 mm dengan beban rata-rata yang terjadi sebesar 1780 kg, nilai rata-rata lendutan pada titik 2 balok normal sebesar 2,4274 mm dengan beban rata-rata yang terjadi sebesar 3157,29 kg, sedangkan nilai rata-rata lendutan titik 3 pada balok normal sebesar 6,8696 mm dengan beban rata-rata yang terjadi sebesar 6305 kg. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil pengamatan lendutan balok beton bertulang normal:

Tabel 3 Rekapitulasi lendutan pada balok normal

Balok	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	Lendutan (mm)	Beban (kg)	Lendutan (mm)	Beban (kg)	Lendutan (mm)	Beban (kg)
RC-N1	0,8091	1200	1,4783	2257,6087	5,1182	5600
RC-N2	0,6455	1600	1,3571	2861,2245	9,4182	6100
RC-N3	1,3727	2200	2,7750	3551,7857	6,0091	6350
RC-N4	1,0364	1800	2,5435	3442,0682	5,3636	6200
RC-N5	0,9909	1800	2,9565	3967,1078	5,2455	6400
RC-N6	1,1636	1800	2,2826	2344,6957	5,7091	6600
RC-N7	1,1273	1600	3,5294	3769,2466	13,5364	6600
RC-N8	1,2455	2000	3,2250	3241,3580	6,4636	6600
RC-N9	0,9818	2000	2,3548	3407,3733	8,1373	6200
RC-N10	1,0895	1800	1,7714	2730,4762	3,6947	6400
Rata-rata	1,0462	1780	2,4274	3157,2945	6,8696	6305

Hasil pengamatan balok beton bertulang *onyx* didapatkan nilai rata-rata lendutan pada titik 1 sebesar 1,3658 mm dengan beban rata-rata yang terjadi sebesar 2020 kg, nilai rata-rata lendutan pada titik 2 balok *onyx* sebesar 3,3413 mm dengan beban rata-rata yang terjadi

sebesar 3491,74kg, sedangkan nilai rata-rata lendutan titik 3 pada balok *onyx* sebesar 8,8232 mm dengan beban rata-rata yang terjadi sebesar 6275 kg. Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil pengamatan lendutan balok beton bertulang *onyx*:

Tabel 4 Rekapitulasi lendutan pada balok *onyx*

Balok	Titik 1		Titik 2		Titik 3	
	Lendutan (mm)	Beban (kg)	Lendutan (mm)	Beban (kg)	Lendutan (mm)	Beban (kg)
RC-01	1,1316	2200	3,8824	4002,6411	14,2421	6350
RC-02	1,4842	2200	3,6000	4125,0000	6,1000	6600
RC-03	1,8316	2600	4,0870	4084,1960	9,6474	6400
RC-04	1,3158	2000	3,8857	3841,1429	11,6684	6000
RC-05	1,5526	2200	2,9032	3023,8847	8,1684	6200
RC-06	1,2737	2000	3,3613	3562,8674	8,2105	6200
RC-07	1,4842	1800	3,0500	3081,0345	6,4158	6200
RC-08	1,1421	1800	3,4750	3574,5283	6,3842	6200
RC-09	1,1579	1600	2,5600	2809,7959	6,8579	6200
RC-010	1,2842	1800	2,6087	2812,3357	10,5368	6400
Rata-rata	1,3658	2020	3,3413	3491,7426	8,8232	6275

Dari grafik beban dengan lendutan rata – rata pada gambar 4 dapat dilihat jika beban yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang dengan agregat normal pada titik 1 atau dalam kondisi taraf praretak ini lebih kecil dibandingkan dengan balok dengan agregat limbah *onyx*, kemudian pada titik 2 atau pada taraf beban pasca retak beban yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang dengan agregat normal lebih kecil dibandingkan dengan balok dengan agregat limbah *onyx*, sedangkan pada kondisi beban maksimum (*ultimate*) atau pada titik 3 ini beban yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang dengan agregat normal lebih besar pada regangannya dibandingkan dengan balok dengan agregat limbah *onyx*.



Gambar 4 Grafik hubungan Beban dengan lendutan rata-rata balok normal dengan balok *onyx*

Untuk membandingkan besarnya lendutan hasil perhitungan teoritis balok normal dengan balok *onyx* pada beban P yang sama maka pada perhitungan lendutan maksimum yang diijinkan pada beban (P) ditentukan pada saat kondisi elastis dengan beban luar sebesar $P = 1000$ kg, dan beban sendiri diabaikan. Perhitungan E_c (Modulus Elastis Beton) menurut SNI-2847-2013 untuk E_c Beton Normal sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$ dan nilai E_s izin dengan tulangan non prategang sebesar 200000 Mpa.

Perhitungan lendutan ini membandingkan hasil perhitungan teoritis antara lendutan balok normal rata-rata dengan lendutan balok *onyx* rata-rata. Berikut hasil perbandingan lendutan teoritis rata-rata:

Tabel 5 Perbandingan Lendutan Balok Normal Rata-rata dengan balok *onyx* rata-rata

	Balok Normal rata-rata	Balok Onyx rata-rata	Satuan
E_c	28090,1193	26966,6980	Mpa
E_s	200000	200000	Mpa
n	7,1199	7,4166	-
b	15	15	cm
h	25	25	cm
A_s	0,0226	0,0226	cm ²
d	22,1400	22,1400	cm
y	12,5036	12,5037	cm
I_{gt}	19544,1147	19544,7379	cm ⁴
lendutan (Teoritis)	0,0156	0,0162	cm
	0,1557	0,1622	mm

Dari Tabel 5 didapatkan nilai lendutan teoritis dari rata-rata balok normal pada kondisi elastis dengan beban 1000kg sebesar 0,1557 mm, sedangkan pada balok *onyx* rata-rata didapatkan nilai lendutan sebesar 0,1622 mm. Dari perbandingan nilai lendutan tersebut, lendutan teoritis balok normal lebih kecil dari lendutan teoritis balok *onyx*, hal ini karena pengaruh dari kekakuan penampang yakni pada modulus elastisitas beton (E_c) yang berbeda.

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah hipotesa awal kita

dapat diterima atau tidak. Dengan diterimanya hipotesa kita, maka penelitian dianggap benar atau dapat dilakukan. Pada penelitian ini, pengujian hipotesa dengan uji T dilakukan untuk mengetahui apakah Beton dengan agregat limbah batu *onyx* dapat mempengaruhi defleksi (lendutan) balok beton bertulang.

Hipotesis dalam pengujian ini adalah:
 H_0 = Hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak dapat perbedaan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton normal terhadap lendutan (defleksi) balok.

H_1 = Hipotesis awal yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan antara beton yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan beton normal terhadap lendutan (defleksi) balok.

Dari perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa T_{hitung} berada pada daerah tolakan maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, jadi terdapat perbedaan antara balok beton bertulang yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan yang menggunakan batu kerikil terhadap lendutan (defleksi) pada balok.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Pengujian Hipotesis Pengaruh Limbah batu *onyx* terhadap lendutan

	S	T_{hitung}	T_{tabel}	Keterangan
Titik 1	0,215811	3,31113	2,1098	H_0 ditolak dan H_1 diterima
Titik 2	0,642129	3,182636	2,1098	H_0 ditolak dan H_1 diterima
Titik 3	2,76642	1,579065	2,1098	H_0 ditolak dan H_1 diterima

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan rata – rata beton agregat normal lebih besar dari kuat tekan rata – rata beton limbah *onyx* yaitu sebesar 7.858 %.
2. Hasil uji statistik pengaruh limbah batu *onyx* terhadap lendutan dengan menggunakan uji T *two-tailed*

mendapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara balok beton bertulang yang menggunakan limbah batu *onyx* dengan yang menggunakan batu kerikil terhadap lendutan (defleksi) pada balok.

3. Lendutan pada balok beton bertulang dengan menggunakan limbah batu *onyx* dan batu kerikil pada tiap daerah grafik beban-lendutan cenderung mengalami perbedaan pada nilai lendutannya yakni lebih kecil lendutan yang didapatkan dari balok normal daripada balok dengan menggunakan limbah batu *onyx*. Pada daerah elastis dan kondisi leleh pada balok beton bertulang dengan limbah *onyx* memiliki kecenderungan mampu menahan beban yang lebih besar daripada balok beton bertulang normal dan pada daerah pasca-serviceability yakni pada beban maksimum balok normal cenderung dapat menahan beban yang lebih besar daripada balok beton bertulang dengan menggunakan limbah *onyx*.
4. Lendutan teoritis pada balok beton bertulang dalam kondisi elastis digunakan beban yang sama ($P=1000\text{kg}$), pada balok beton bertulang normal memiliki nilai lendutan rata-rata yang lebih kecil, yakni sebesar ($\delta=0,1557\text{ mm}$), sedangkan balok beton bertulang dengan menggunakan limbah batu *onyx* memiliki nilai lendutan rata-rata sebesar ($\delta=0,1622\text{ mm}$).

Saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

1. Perlunya kontrol yang lebih baik terhadap komposisi material dan proses pencampuran beton untuk mencegah pengaruh dari faktor-faktor lain yang tidak diinginkan.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang belum dilakukan penulis yaitu pengujian susut (*shrinkage*) dan rangkai pada beton *onyx*.
3. Dalam penelitian selanjutnya bisa dilakukan perencanaan dimensi balok *onyx* yang efektif dengan acuan dari nilai lendutan pada beban maksimum pada penelitian ini.

Nurlina, Siti. 2008. *Teknologi Bahan*. Malang. Bargie Media

Wibowo, Ari dan Setyowati, EW. 2003. *Teknologi Beton*. Malang : Buku Diktat

DAFTAR PUSTAKA

Dhiya Ulhaq, A.G., Soehardjono, A. and Setyowati, E.W., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Modulus Elastisitas Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp.pp-224

James, K., White., James, G., MacGregor. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design (Sixth Edition)*. New Jersey, United States of America: Pearson Education, Inc

Marble Institute of America. 2016. *Marble and Onyx*. Ohio. An except from the dimension stone design manual version VIII.

Marble Institute of America. 2011. *Calcareous Onyx*. Ohio. Technical Bulletin.

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi

Nasional, Badan Standarisasi. "*SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*." BSN, Jakarta (2000).

Nasional, B.S., 2013. *SNI 03-2847-2013 Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.

Nawy, Edward G. 2010. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Penerbit PT. Refika Aditama