

PENGARUH LIMBAH BATU ONYX PENGGANTI AGREGAT KASAR BETON TERHADAP POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

Kharimatul Aqli¹⁾, Edhi Wahyuni S²⁾, Wisnumurti³⁾

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: aqlikha@gmail.com¹⁾

ABSTRAK

Kerikil pembentuk beton dengan volume sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Limbah pecahan onyx dari pengrajin onyx setiap harinya mencapai 500 kg. Struktur beton bertulang didesain untuk memenuhi kriteria keamanan (*safety*) dan layak pakai (*serviceability*). Kriteria perilaku beton bertulang salah satunya adalah pola retak. Benda uji yang dibuat yaitu silinder dan balok beton bertulang dengan dimensi 0,15 x 0,25 x 2 meter. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan *compression machine*. Dilakukan pengujian lentur selanjutnya dilakukan pengamatan pola retak. Kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar dari kuat tekan rata – rata beton limbah onyx yaitu sebesar 7.858 %. Pola retak kedua balok beton bertulang normal dan onyx memiliki kecenderungan retak lentur, dan retak lentur geser pada balok beton bertulang limbah onyx. Kecenderungan jumlah retak yang sama yaitu 9 retakan bagian depan dan 10 retakan bagian belakang. Jumlah retak menjalar ke atas pada retak maksimum balok beton bertulang onyx lebih banyak dengan 10 retakan dan balok beton bertulang normal 9 retakan. Beton bertulang normal memiliki kuat tarik dan lebih getas dari balok beton bertulang limbah onyx. Keruntuhan lentur yang terjadi cenderung sama yaitu *under reinforced* dengan ditandai retak pada daerah tarik.

Kata kunci: balok beton bertulang, agregat limbah batu onyx, pola retak

1. Pendahuluan

Material pembentuk beton yaitu semen, agregat halus dan kasar, air, udara, dan bahan tambahan. Kerikil merupakan salah satu material yang pembentuk beton dengan kebutuhan volume paling besar dalam campuran sekitar 60% sampai 80% volume agregat [6]. Proses untuk mendapatkan kerikil dan batu pecah dengan penambangan disungai mengakibatkan terjadinya erosi.

Limbah pecahan onyx yang dihasilkan dari perusahaan besar pengrajin onyx setiap harinya mencapai 500 kg. Salah satu alternatif yaitu dengan memanfaatkan limbah batu onyx sebagai agregat kasar beton.

Struktur beton bertulang didesain untuk memenuhi kriteria keamanan (*safety*) dan layak pakai (*serviceability*). Kriteria tersebut yaitu pola retak. Bila batu onyx digunakan sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton yang diaplikasikan menjadi balok maka perlu diteliti perilaku pola retak balok tersebut untuk mengetahui keruntuhan balok

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Batuan Onyx

Onyx terdiri dari mikrokristalin yang berupa

kalsit kasar dan biasanya juga mengandung aragonit. Mikrokristal tersebut terbentuk sebagai material bertekstur serat dan lamelar. Warna kuning coklat yang ada pada *onyx* terjadi akibat adanya oksida besi, namun ada juga yang keputih – putihan, kuning muda, orange madu, kuning, merah dan hijau gelap [3]. Dari hasil uji laboratorium didapatkan keasusan sebesar 24% [8]

2.2 Beton Bertulang

Beton kuat menahan tekan dan lemah menahan tarik, maka beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikul melebihi batas kuat tarik beton. Sehingga diperlukan tulangan baja yang berfungsi menyediakan kuat tarik pada beton. Penambahan tulangan pada beton disebut dengan istilah beton bertulang.

2.3 Retak

Penyebab terjadinya retak dikarenakan berbagai faktor, tetapi yang sering terjadi disebabkan oleh satu atau lebih perilaku : Retak karena perubahan volume, Retak akibat tegangan langsung dan lentur akibat beban atau reaksi yang diberikan [7].

Retak Geser

Retak geser diakibatkan beton tidak mampu menahan gaya geser dengan karakteristik kenampakan yang miring. Retak geser merupakan retak horizontal yang terjadi pada balok. [2]



Gambar 1 Retak Geser

Retak Lentur

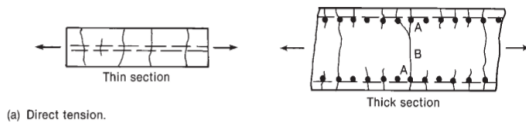
Retak lentur diakibatkan beton tidak mampu menahan momen lentur, retak yang terjadi di tengah – tengah bentang. [2]



Gambar 2 Retak Lentur

Retak Tarik

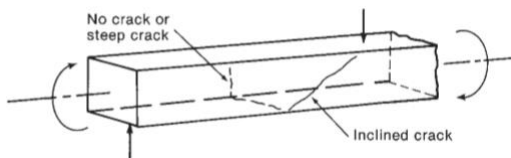
Beton yang mengalami gaya tarik akan mengalami retak sepanjang penampang melintang dengan jarak retak bervariasi antara 0,75 sampai 2 kali ketebalan beton. [2]



Gambar 3 Retak Tarik

Retak Torsi

Retak akibat torasi murni akan mengelilingi beton. Pada beton normal yang juga mengalami momen dan geser keretakan cenderung kelihatan pada permukaan dimana terjadi tegangan geser yang menyebabkan penambahan torsi. [2]



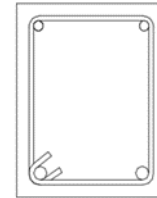
Gambar 4 Retak Torsi

3. Metode Penelitian

Adapun benda uji yang dibuat dan diteliti:

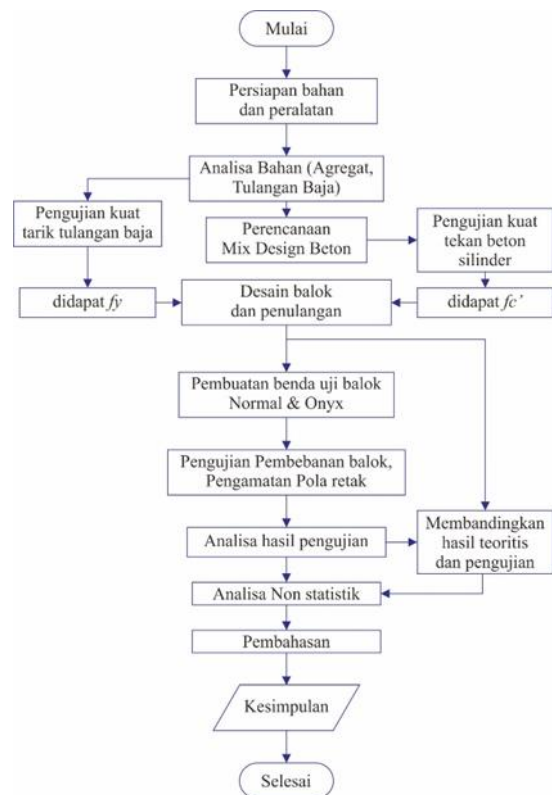
1. Pengujian kuat tekan pada beton yaitu 15 buah beton silinder agregat normal dan 15 buah beton silinder agregat onyx.
2. Jumlah benda uji balok dengan ukuran 15 cm

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.



Gambar 5 Gambar Penampang

Dimensi 0,15 x 0,25 x 2
Tulangan utama bawah
2- ϕ 12
Tulangan Geser
 Φ 8 – 150 [5]



Gambar 6 Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian beton keras yaitu kuat tekan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm [4]. 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	35,72
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	
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	

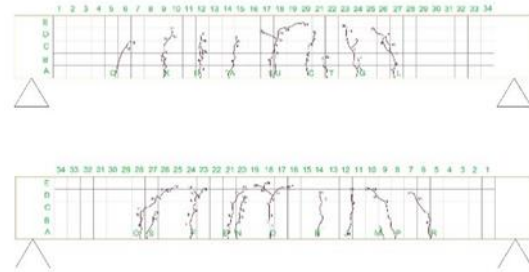
Tabel 2 Kuat Tekan Beton *Onyx*

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	

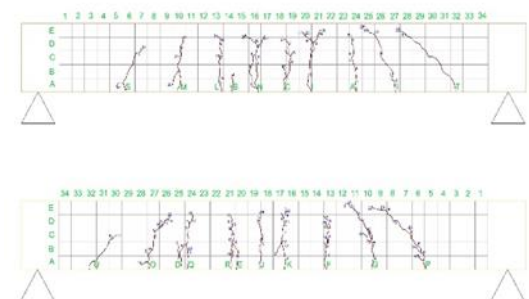
Dari tabel 1 dan 2 didapat hasil nilai perbandingan antara kuat tekan beton normal dan *onyx*, dimana kuat tekan beton normal rata – rata yaitu sebesar 35,72 Mpa dan untuk beton dengan agregat limbah *onyx* nilai kuat tekan rata – rata sebesar 32,92 Mpa. [8]

Pengamatan pola retak benda uji untuk balok beton bertulang dengan agregat kasar batu kerikil yang diberi nama RC – N (*Reinforced Concrete Normal*) dan balok beton bertulang dengan agregat kasar *onyx* RC – O (*Reinforced Concrete*

Normal) dengan tiap titik retak diberi nama dengan huruf abjad mulai dari retak pertama dengan huruf A, B, C, dan seterusnya.



Gambar 7 Pola retak balok beton bertulang agregat normal



Gambar 8 Pola retak balok beton bertulang agregat *onyx*

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan diperoleh data – data yang digunakan sebagai perbandingan balok beton bertulang normal (RC – N01 sampai dengan RC – N10) dengan balok beton bertulang *onyx* (RC – O01 sampai dengan RC – O10) yaitu sebagai berikut:

Tabel 3 Beban pada saat terjadi retak

No	Normal	Mulai retak (kg)	Ultimate (kg)	<i>Onyx</i>	Mulai retak (kg)	Ultimate (kg)
1	RC-N01	1200	5600	RC-O01	2200	6350
2	RC-N02	1600	6100	RC-O02	2200	6600
3	RC-N03	2200	6350	RC-O03	2600	6400
4	RC-N04	1800	6200	RC-O04	2000	6000
5	RC-N05	1800	6400	RC-O05	2200	6200
6	RC-N06	1800	6600	RC-O06	2000	6200
7	RC-N07	1600	6600	RC-O07	1800	6200
8	RC-N08	2000	6200	RC-O08	1800	6200
9	RC-N09	2000	6400	RC-O09	1600	6200
10	RC-N10	1800	6400	RC-O10	1800	6400
	min	1200	5600		1600	6000
	max	2200	6600		2600	6600

Dari tabel 3 retak pertama yang terjadi pada balok beton bertulang normal (RC – N) yaitu 1200 kg sampai dengan 2200 kg, sedangkan untuk balok beton bertulang *onyx* (RC – O) yaitu 1600 kg

sampai 2600 kg. Balok beton bertulang normal (RC – N) lebih cepat terjadi retak pertama dibandingkan dengan balok beton bertulang *onyx* (RC – O), hal tersebut dikarenakan balok beton bertulang *onyx* (RC – O) lebih plastis daripada balok beton bertulang normal (RC – N) [1], sehingga untuk mencapai retak pertama dibutuhkan gaya tarik yang lebih besar pada balok beton bertulang *onyx* (RC – O).

Beban maksimum yang hingga pengamatan retak selesai dilakukan untuk balok beton bertulang normal (RC – N) yaitu 5600 kg sampai dengan 6600 kg, untuk balok beton bertulang *onyx* (RC – O) yaitu 6000 sampai dengan 6600 kg.

Tabel 4 Retak Sepanjang Bentang

No	Normal	Depan	Belakang	<i>Onyx</i>	Depan	Belakang
1	RC-N01	7	8	RC-O01	9	11
2	RC-N02	9	10	RC-O02	10	10
3	RC-N03	9	10	RC-O03	8	8
4	RC-N04	9	11	RC-O04	10	10
5	RC-N05	10	10	RC-O05	8	8
6	RC-N06	9	10	RC-O06	12	8
7	RC-N07	9	11	RC-O07	9	11
8	RC-N08	9	9	RC-O08	9	10
9	RC-N09	9	9	RC-O09	10	11
10	RC-N10	8	8	RC-O10	6	8

Retak yang terjadi sepanjang bentang seperti yang terlihat pada tabel 4.19 dengan hasil rata – rata jumlah retak sepanjang balok beton bertulang normal (RC-N) bagian depan sebanyak 9 retakan dan untuk bagian belakang 10 retakan, sama dengan balok beton bertulang *onyx* (RC-O) juga terjadi rata – rata 9 retakan di bagian depan dan 10 retakan di bagian belakang. Hal tersebut menunjukkan kecenderungan jumlah retak yang sama antara beton bertulang normal (RC-N) dan balok beton bertulang *onyx* (RC-O).

Tabel 4 Retak menjaral ke atas pada retak maksimum

No	Normal	Retak	<i>Onyx</i>	Retak
1	RC-N01	8	RC-O01	13
2	RC-N02	8	RC-O02	10
3	RC-N03	10	RC-O03	8
4	RC-N04	11	RC-O04	11
5	RC-N05	7	RC-O05	11
6	RC-N06	8	RC-O06	10
7	RC-N07	10	RC-O07	10
8	RC-N08	7	RC-O08	9
9	RC-N09	8	RC-O09	9
10	RC-N10	9	RC-O10	10

Retak yang terjadi pada retak paling besar hingga beban mencapai ultimate. Balok beton bertulang normal (RC-N) mengalami rata – rata 9 kali retakan hingga mencapai beban ultimate, sedangkan balok beton bertulang *onyx* (RC-O) mengalami 10 kali retakan hingga mencapai beban ultimate. Dari jumlah retakan yang terjadi menunjukkan lebih banyak retak pada *onyx* daripada normal.

Tabel 5 Daerah Bebas Retak Depan

No	Normal	kiri (cm)	kanan (cm)	<i>Onyx</i>	kiri (cm)	kanan (cm)
1	RC-N01	40	30	RC-O01	15	40
2	RC-N02	20	20	RC-O02	30	25
3	RC-N03	35	20	RC-O03	40	30
4	RC-N04	30	20	RC-O04	25	20
5	RC-N05	25	35	RC-O05	25	35
6	RC-N06	30	20	RC-O06	15	20
7	RC-N07	20	35	RC-O07	25	35
8	RC-N08	40	20	RC-O08	40	15
9	RC-N09	25	25	RC-O09	20	10
10	RC-N10	30	25	RC-O10	20	35

Tabel 6 Daerah Bebas Retak Belakang

No	Normal	kiri (cm)	kanan (cm)	<i>Onyx</i>	kiri (cm)	kanan (cm)
1	RC-N01	35	30	RC-O01	25	30
2	RC-N02	20	20	RC-O02	30	20
3	RC-N03	35	25	RC-O03	35	30
4	RC-N04	20	20	RC-O04	20	20
5	RC-N05	25	35	RC-O05	30	30
6	RC-N06	25	15	RC-O06	25	35
7	RC-N07	25	30	RC-O07	25	30
8	RC-N08	40	15	RC-O08	30	20
9	RC-N09	30	30	RC-O09	25	10
10	RC-N10	35	20	RC-O10	25	40

Daerah bebas retak pada tabel 5 dan 6 dinyatakan secara panjang yaitu menunjukkan daerah bebas retak rata – rata balok beton bertulang normal (RC – N) sisi kiri sepanjang 29 cm dan sisi kanan 25 cm. Sedangkan daerah bebas retak rata – rata balok beton bertulang *onyx* (RC – O) sisi kiri sepanjang 26 cm dan sisi kanan 26,5 cm. Maka daerah bebas retak balok bertulang normal lebih panjang dari balok beton bertulang *onyx*.

Tabel 7 Sudut retak geser RC – N

No	Balok	Kode retak	depan	samping	θ (°)	Rata - rata θ (°)
1	RC-N01	K	1,7	1,2	54,8	54,9
		Q	3	2,2	53,7	
		P	3	2	56,3	
2	RC-N02	A	1,7	1,7	45	48,7
		J	2,1	1,3	58,2	
		P	3	2,8	47	
		S	1	1	45	
		U	1,9	1,7	48,2	
3	RC-N03	L	1	1	45	48
		N	1,1	0,8	54	
		O	0,9	0,9	45	
4	RC-N04	L	1,8	1,2	56,3	47,9
		R	2,2	2,4	42,5	
		S	1,5	1,5	45	
5	RC-N05	B	0,7	0,7	45	46,7
		D	0,7	0,7	45	
		H	0,9	0,8	48,4	
		L	0,9	0,8	48,4	
6	RC-N06	F	3	3,4	41,4	42,3
		H	3	3,3	42,3	
		S	1,2	1,3	42,7	
		T	1,2	1,3	42,7	
7	RC-N07	L	1,8	1,2	56,3	46,7
		O	1,4	1,7	39,5	
		P	1,1	1,5	36,3	
		Q	1	0,7	55	
8	RC-N08	-	-	-	-	46,7
		H	1,4	1,3	47,1	
		Q	1	0,9	48	
10	RC-N10	R	1,5	0,9	59	53,1
		S	1,6	1	58	
		T	1,9	2,1	42,1	

Tabel 8 Sudut retak geser RC – O

No	Balok	Kode retak	depan	samping	θ (°)	Rata - rata θ (°)
1	RC-O01	D	2,5	2,4	46,16	41,78
		G	1,8	2,8	32,73	
		N	2,7	3	41,98	
		O	2,8	3,1	42,08	
		R	1,2	1,2	45	
2	RC-O02	S	1,2	1,3	42,7	47,48
		C	1,1	0,9	50,71	
		H	1,1	0,9	50,71	
		G	1,2	1,1	47,48	
		Q	1,9	2	43,53	
3	RC-O03	R	1,7	1,5	48,57	35,02
		S	2,5	2,6	43,87	
		J	0,4	1	21,8	
		K	1,1	1,2	42,51	
4	RC-O04	L	0,5	1,1	24,44	48,09
		P	1,5	1,2	51,34	
		J	2,4	2	50,19	
		M	1,3	1,1	49,76	
5	RC-O05	N	1,7	1,4	50,52	44,24
		P	3,2	4	38,65	
		Q	2,5	2	51,34	
		L	1,8	2	41,98	
6	RC-O06	M	0,9	0,9	45	48,97
		N	1,5	1,5	45	
		O	1,9	1,9	45	
		F	1,3	1	52,43	
7	RC-O07	J	3	2	56,30	53,29
		M	1,5	1,8	39,80	
		R	3	2,4	51,34	
		S	3,5	3,5	45	
8	RC-O08	L	2	1,2	59,03	43,45
		O	1,8	2	41,98	
		P	2	1,5	53,13	
		R	1,5	0,9	59,03	
9	RC-O09	O	1	1	45	47,88
		P	1,3	1,4	42,87	
		R	0,8	0,8	45	
		S	3,3	2,2	56,31	
10	RC-O10	T	0,8	1,5	28,07	51,91
		G	2,1	2	46,39	
		I	3,3	2,4	53,97	
		O	1,2	1,2	45	
10	RC-O10	P	3,5	4	41,18	56,31
		S	1,3	0,8	58,39	
		T	3,5	4	41,18	
		U	1,5	1,3	49,08	
10	RC-O10	K	1	1	45	51,91
		L	2	1,4	55,01	
		N	3	2,4	51,34	
		O	1,5	1	56,31	

Sudut dari retak geser lentur dari kedua balok bermacam – macam dengan sudut terkecil pada balok beton bertulang normal (RC – N) sebesar 36,3° dan balok beton bertulang *onyx* (RC – O) sebesar 21,8° sedangkan untuk sudut terbesar keduanya sama yaitu 59° dengan sudut rata – rata (RC – N) 48,3° dan (RC – O) 46,2°. Balok beton bertulang *onyx* memiliki sudut geser yang lebih kecil karena

agregat *onyx* memiliki kekuatan tarik yang lebih kecil daripada normal sehingga menimbulkan retak geser lentur yang lebih besar ^{[1][9]}.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai balok beton bertulang normal (RC – N) dan balok beton bertulang limbah *onyx* (RC – O) 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. Pola retak kedua balok beton bertulang normal dan *onyx* memiliki kecenderungan retak lentur, dan retak lentur geser pada balok beton bertulang limbah *onyx*. Balok beton bertulang limbah *onyx* lebih plastis dari balok beton bertulang normal.
3. Kecenderungan jumlah retak yang sama antara balok beton bertulang normal dan limbah *onyx* yaitu 9 retakan bagian depan dan 10 retakan bagian belakang. Jumlah retak menjalar ke atas pada retak maksimum balok beton bertulang *onyx* lebih banyak dengan 10 retakan dan untuk balok beton bertulang normal 9 retakan.
4. Daerah bebas retak rata – rata balok beton bertulang normal sisi kiri sepanjang 29 cm dan sisi kanan 25 cm, pada beton bertulang limbah *onyx* lebih pendek dengan sisi kiri sepanjang 26 cm dan sisi kanan 26,5 cm. Serta sudut retak geser balok beton bertulang normal lebih besar 4,554% dari beton bertulang limbah *onyx*.
5. Balok beton bertulang normal memiliki kuat tarik dan lebih getas dari balok beton bertulang limbah *onyx*. Keruntuhan lentur yang terjadi cenderung sama yaitu under reinforced dengan ditandai retak pada daerah tarik.

Saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian selanjutnya dapat diteliti panjang penambahan retak tiap penambahan pembebanan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang belum dilakukan penulis yaitu pengujian susut (*shrinkage*) dan rangkai pada beton *onyx*.
3. Dalam penelitian selanjutnya dapat mengamati pola retan balok beton bertulang rangkai *onyx*.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] James, K., White., James, G., MacGregor. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design (Sixth Edition)*. New Jersey, United States of America: Pearson Education, Inc.
- [3] Marble Institute of America. 2016. *Marble and Onyx*. Ohio. An excerpt from the dimension stone design manual version VIII.
- [4] Nasional, Badan Standarisasi. "SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal." BSN, Jakarta(2000).
- [5] Nasional, B.S., 2013. SNI 03-2847-2013 *Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- [6] Nawy, Edward G. 2010. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Penerbit PT. Refika Aditama.
- [7] Park,R. dan Paulay,T. (1976). *Reinforced Concrete Structures*, Penerbit: John Wiley and Sons, New York.
- [8] Rahmawati P, D.R., Setyowati, E.W. and Anggraini, R., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp.pp-151
- [9] Raya, B.T., Setyowati, E.W. and Anggraini, R., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp.pp-104.