

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia semakin meningkat, dimana pemerintah dan masyarakat semakin banyak melakukan pembangunan untuk konstruksi gedung bertingkat maupun rumah sederhana. Salah satu material yang digunakan dalam pembangunan adalah beton. Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara dan campuran tambahan lainnya (Nawy, 2010). Kebutuhan agregat kasar sangat besar yaitu sekitar 60 % - 80 % volume agregat. Menurut Undang-Undang Nomor 11 tahun 1967 tentang Ketentuan Pokok Pertambangan menyebutkan bahawa pertambangan rakyat adalah suatu usaha pertambangan bahan-bahan galian dari semua golongan a, b dan c yang dilakukan oleh rakyat setempat secara kecil-kecilan atau gotong royong dengan alat-alat sederhana untuk pencairan sendiri (As'ad, 2005). Kegiatan penambangan dapat mempengaruhi sifat fisika, kimia serta biologi tanah melalui pengupasan tanah lapisan atas, penambangan, pencucian serta pembuangan tailing. Penambangan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan akan menyebabkan terancamnya daerah sekitarnya dengan bahaya erosi dan tanah longsor karena hilangnya vegetasi penutup tanah (As'ad, 2005). Maka dari itu perlu mencari alternatif terhadap penggunaan agregat kasar.

Daerah Gamping, Kecamatan Campur Darat, Tulungagung merupakan wilayah tambang batu *onyx* di Jawa Timur, batu *onyx* tersebut dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai kerajinan furniture. Di daerah Gamping kebanyakan masyarakat bekerja sebagai perajin furniture batu *onyx* sehingga mengakibatkan limbah batu *onyx* dalam jumlah besar setiap harinya 500 kg dan belum ada pemanfaatan limbah batu *onyx* tersebut.

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2 disyaratkan bahwa komponen struktur harus memenuhi kemampuan layan untuk menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja. Kemampuan layan terbatas pada tingkat beban kerja dan salah satunya ditentukan oleh retak pada beton bertulang. Penyusutan beton atau gaya luar mengakibatkan rendahnya gaya tarik sehingga terjadi retak. Besarnya lebar retak dapat merubah bentuk permukaan beton dan membuat korosi pada tulangan yang telah terekspos. Maka dari itu diperlukan penelitian terhadap lebar retak beton dengan agregat limbah batu

onyx pada balok bertulangan tunggal dan dibandingkan dengan beton dengan agregat kerikil pada tulangan tunggal.

1.2. Identifikasi Masalah

Semakin meningkatnya pembangunan dalam bidang konstruksi menyebabkan bertambahnya penggunaan material konstruksi. Material tersebut berupa kerikil sebagai agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Semakin banyak kerikil yang digunakan maka akan berdampak pada aspek lingkungan sekitar penambangan kerikil tersebut. Maka dari itu diperlukan alternatif pengganti kerikil sebagai agregat kasar.

Penyusutan beton atau gaya luar mengakibatkan rendahnya gaya tarik sehingga terjadi retak. Besarnya lebar retak mengubah bentuk permukaan beton dan membuat korosi pada tulangan yang telah terekspos. Selain itu penggantian agregat batu *onyx* sebagai agregat kasar akan memberi perbedaan pada lebar retak balok tersebut. Maka dari itu diperlukan penelitian terhadap lebar retak beton dengan agregat limbah batu *onyx* pada balok bertulangan tunggal dan dibandingkan dengan beton dengan agregat kerikil pada tulangan tunggal.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka permasalahan yang dirumuskan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah ada perbedaan kuat tekan beton antara menggunakan agregat normal dengan agregat batu *onyx*?
2. Apakah ada perbedaan lebar retak beton bertulangan tunggal antara menggunakan agregat normal dengan agregat batu *onyx*?
3. Bagaimana lebar retak beton bertulangan tunggal yang menggunakan agregat normal dan agregat batu *onyx*?

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar yang dipakai adalah limbah batu *onyx* didapatkan dari daerah Gamping, Kecamatan Campur Darat, Tulungagung.
2. Perubahan kimia tidak diteliti.
3. *Mix design* yang digunakan sesuai dengan penelitian yang telah dilaksanakan oleh Setyowati (2016), karena telah didapatkan proporsi campuran yang terbaik untuk beton dengan agregat *onyx* dengan nilai FAS sebesar 0,4.
4. Uji kuat tekan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder.

5. Peraturan perencanaan kekuatan balok beton bertulang yang digunakan adalah SNI 03-2847-2013 tentang analisa beton bertulang.
6. Tidak dilakukan analisis nilai ekonomis dari limbah batu *onyx*.
7. Pengamatan hanya dilakukan hingga mencapai beban maksimum.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan perbedaan kuat tekan beton agregat normal dan agregat batu *onyx*.
2. Mendapatkan perbedaan lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal dengan beton agregat normal bertulangan tunggal.
3. Mendapatkan nilai lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal dan beton agregat normal bertulangan tunggal.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini agar limbah batu *onyx* dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar beton struktural terutama masyarakat sekitar Desa Campurdarat, Tulungagung. Dan sebagai alternatif agregat kasar pada beton struktural yang lebih ramah lingkungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran semen Portland, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya.

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari (Mulyono, 2004).

Beton terdiri dari beberapa campuran dan bahan tambahan. Bahan-bahan penyusun beton antara lain:

2.1.1 Semen

Berdasarkan SNI-15-0302-2004, semen PPC (Portland Pozzolan Cement) yaitu suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan. Semen PPC dibagi 4 (empat jenis) menurut jenis dan penggunaannya yaitu:

1. Jenis IP-U yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
2. Jenis IP-K yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis P-U yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis P-K yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Dalam (Setyowati et al, 2003) menjelaskan, salah satu faktor yang mempengaruhi kekerasan semen adalah kehalusan butiran semen. Sifat yang berhubungan dengan pengaruh kehalusan butiran semen adalah:

1. Kekuatan awal beton yang tinggi
2. Cepat mundurnya mutu semen jika terpengaruh cuaca
3. Reaksi kuat dengan bahan – bahan yang reaktif
4. Mengurangi retak – retak
5. Daya penyusutan beton yang tinggi
6. Pengikatan awal yang cepat
7. Kebutuhan air pada beton yang lebih banyak
8. Mengurangi *bleeding* ketika proses pengecoran

2.1.2 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yaitu sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (Nawy, 2010).

Persyaratan mutu agregat halus:

1. Batas gradasi agregat halus sesuai SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1

Persyaratan Batasan Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-2000

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan | | | |
|--------------------|--|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | No. 1 (Pasir Kasar) | No. 2 (Pasir Sedang) | No. 3 (Pasir Agak Halus) | No. 4 (Pasir Halus) |
| 9,6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,4 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,2 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,6 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,3 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

2. Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 2,20%-3,10%. MHB 2,5 s/d 3,0 disarankan untuk beton mutu tinggi.
3. Berat jenis (*specific gravity*) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20
4. Absorpsi (penyerapan air) sesuai ASTM C-33 yaitu 0,2%-2,0%.
5. Spesifikasi berat volume sesuai ASTM C-33 yaitu 3%-5%.

6. Kadar lumpur agregat halus sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-6,0%.

2.1.3 Agregat Kasar

Agregat Kasar atau kerikil merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4,8 mm. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel dan semen.

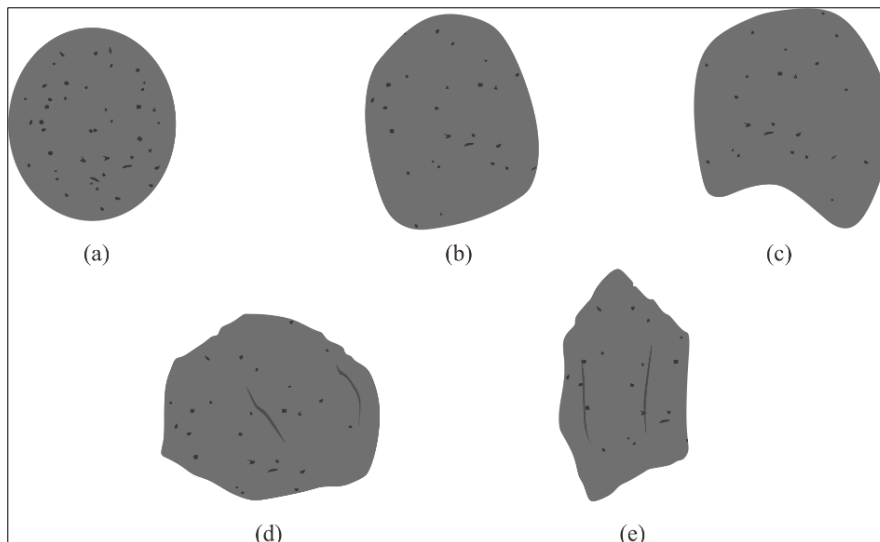
Jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah:

- a) Batu pecah alami, didapatkan dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
- b) Kerikil alami, didapatkan dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c) Agregat kasar buatan, berupa *slag* atau *shale* yang digunakan untuk beton berbobot ringan.

2.1.3.1 Tekstur dan bentuk agregat

Agregat untuk pembuatan beton memiliki ukuran dan bentuk tertentu yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah satu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini terdapat istilah *roundness*, yaitu ukuran relatif besarnya sudut – sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed aggregates*, entuk dari agregat bergantung pada kondisi alam dari batu induk dan tipe penghancuran serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan kedalam alat penghancur dengan produk agregat yang dihasilkan. Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah sebagai berikut :

- a) *Well rounded* – bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada
- b) *Rounded* – bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang
- c) *Subrounded* – permukaan sudah halus namun bentuk asli batu induk masih tetap ada
- d) *Subangular* – terdapat permukaan yang halus
- e) *Angular* – bentuk tidak teratur



Gambar 2.1 Macam – macam bentuk agregat (a) *Well rounded*, (b) *Rounded*, (c) *Stubrounded*, (d) *Subangular*, (e) *Angular*

Selain dari bentuk agregat, perlu diperhatikan pula tekstur permukaan agregat. Tekstur permukaan agregat ini bergantung pada kekerasannya, ukuran butiran, porositas dari material induknya, dan juga besarnya energi yang terjadi pada permukaan, membuat agregat lebih halus atau lebih kasar. Klasifikasi tekstur permukaan agregat ini didasarkan pada derajat apakah permukaan agregat licin atau tidak, halus atau kasar.

Bentuk dan tekstur permukaan dari agregat mempengaruhi kekuatan dari beton, dimana *flexural strength* lebih terpengaruh dibandingkan dengan *compressive strength*. Pengaruh ini didasarkan pada asumsi bahwa tekstur yang lebih kasar akan menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih besar antar partikel dengan matriks semen. Sama halnya dengan semakin luas permukaan agregat maka semakin besar kekuatan adhesi yang dihasilkan. Namun disatu sisi, dengan digunakannya agregat yang permukaannya kasar, akan menyebabkan dibutuhkan air yang lebih banyak pada campuran beton.

2.1.3.2 Ikatan Agregat

Ikatan antar agregat dan pasta semen adalah faktor penting dalam menyumbang kekuatan beton, terutama dalam kuat tariknya. Pada permukaan yang kasar, seperti pecahan batu, akan memberikan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen. Ikatan yang lebih baik juga didapat dari partikel yang kandungan mineralnya heterogen dan bersifat porous. Selain itu, ikatan agregat juga dipengaruhi oleh properti fisik dan kimiawi dari agregat, yang berhubungan dengan komposisi mineral serta kimiawi dan kondisi elektrostatis dari permukaan agregat.

Dalam perencanaan beton, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah *workability*. Dengan *workability* yang cukup, segregasi pada beton akan berkurang sehingga didapatkan kepadatan beton yang maksimum. Distribusi ukuran agregat berpengaruh pada kemudahan pengerjaan beton. Gradasi agregat yang baik adalah agregat yang memiliki distribusi ukuran butir agregat yang beraturan. Gradasi agregat yang demikian akan memberikan kepadatan yang cukup untuk mengoptimalkan kekuatan akhir beton. Dalam SNI 03-2834-2000 terdapat syarat mengenai batasan gradasi agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 2.2

Persyaratan Batasan Gradasi Untuk Agregat Kasar Sesuai SNI 03-2834-2000

| Ukuran Lubang Ayakan (mm) | Persentase berat bagian yang lewat ayakan | | |
|---------------------------|---|-----------|------------|
| | Ukuran nominal agregat (mm) | | |
| | 38 – 4,76 | 19 – 4,76 | 9,6 – 4,76 |
| 38,1 | 95 – 100 | 100 | |
| 19 | 37 – 70 | 95 – 100 | 100 |
| 9,52 | 10 – 40 | 30 – 60 | 50 – 85 |
| 4,76 | 0 - 5 | 0 – 10 | 0 – 10 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

Modulus Halus Butir (MHB), modulus kehalusan butir (*Fineness Modulus*) atau MHB, spesifikasi modulus halus butir agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu

1. Absorpsi dan berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar, spesifikasi berat jenis agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20 dan absorpsi pada nilai 0,2-0,4%. Untuk beton mutu tinggi akan baik dengan absorpsi kurang dari 1%.
2. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
3. Kadar air agregat kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 0,5%-50%.
4. Kadar lumpur agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-1,0%.
5. Persentase keausan agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 adalah 15%-50%.

2.1.3.3 Batu Beku

Kerikil merupakan batu andesit yang termasuk dalam golongan batuan beku vulkanik hasil erupsi atau letusan gunung api. Batuan ini mengandung silika 56,77 %, padat, keras, mempunyai tekstur halus, berwarna abu-abu kegelapan sampai hitam. Secara fisik batu andesit mempunyai berat jenis antara 1,6-2,9 dengan berat isi sebesar 1635-2870 kg/m³, porositas sebesar 1-2%, absorbs sekitar 0,8% dan kekerasan berkisar 5-6 Moh's. Secara mekanis batu andesit memiliki kuat tekan sebesar 60-240 MPa, modulus elastisitas sebesar 20-60 MPa dan kuat tarik belah sebesar 13-20 MPa.

2.1.4 Batu Onyx

Marble Institute of America (2016) menjelaskan, *onyx* terdiri dari mikrokristalin yang merupakan kalsit kasar dan biasanya juga mengandung aragonit. Mikrokristal tersebut terbentuk dari material bertekstur serat dan lamelar. Biasanya batuan ini tersusun sebagai material yang tembus cahaya dengan berbagai warna yang tergantung pada jumlah zat oksida besi yang bervariasi, 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.

Marble Institute (2016), juga menjelaskan tentang sifat mekanik dari beberapa batuan *onyx* didunia yaitu :

Tabel 2.3
Sifat Mekanik *Onyx*

| <i>Onyx Name</i> | <i>Country</i> | <i>Absorption</i> | <i>Density</i> | | <i>Compressive Strength</i> | |
|--------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | Of Origin | % by weight | kg/m³ | lbs/ft³ | MPa | Lbs/in² |
| <i>Akhisar Onyx</i> | Turkey | 0,30 | 2,700 | 168,6 | 39,2 | 5,690 |
| <i>Songwe Onyx</i> | Tanzania | 0,07 | 2,77 | 172,9 | | |
| <i>Onice Smeraldo</i> | Iran | 0,19 | 2,900 | 181,0 | 53,5 | 7,680 |
| <i>Onice Verde</i> | Pakistan | 0,15 | 2,548 | 159,1 | 48,1 | 6,970 |
| <i>Honey Onyx</i> | Turkey | 0,50 | 2,690 | 167,9 | 84,5 | 12,26 |
| <i>White Onyx</i> | Iran | 0,03 | 2,700 | 168,6 | 79,9 | 11,59 |
| <i>Orange Onyx</i> | Iran | 0,03 | 2,720 | 169,8 | 75,9 | 11,01 |
| <i>Light Green Onyx</i> | Iran | 0,02 | 2,730 | 170,4 | 105,1 | 15,24 |
| <i>Vista Grande Onyx</i> | USA | 0,11 | 2,589 | 161,6 | 46 | 6,668 |
| <i>Multicolor Onyx</i> | Pakistan | 0,12 | 2,730 | 170,4 | 133,1 | 19,30 |
| <i>Rosa Grande Onyx</i> | USA | 0,11 | 2,589 | 161,6 | 46 | 6,668 |
| <i>Light Green Onyx</i> | Pakistan | 0,01 | 2,728 | 170,3 | 20,208 | 20,208 |

Sumber : *Marble Institute* (2016)

Onyx adalah jenis batu kuarsa yang sering disebut juga dengan marmer tembus cahaya. Umumnya berwarna putih kekuningan dan agak bening sehingga tembus pandang. *Onyx* terjadi pada rongga atau tekanan batu kuarsa yang berasal dari larutan kalsium karbonat baik yang terjadi pada temperature panas atau dingin, sehingga terjadi pengkristalan. Menurut Herve Nicolas Lazzarelli, (*Blue Chart Gem Identification*, 2010) batu *onyx* memiliki indeks kekerasan 6,5 – 7 mohs dengan berat jenis 2,55 hingga 2,70. Dari hasil uji laboratorium didapatkan keausan sebesar 24% (Anissa, 2016, pp. 30)

Onyx terbentuk dari metamorfosis batu kapur atau Dolomit. Apa yang membuat batuan ini berbeda dari batuan karbonat sedimen, adalah kristal yang lebih besar. Komponen

mineral utama adalah Kalsit, yang sering disertai kuarsa, grafit, hematit, limonit, pirit dan sebagainya. Analisis fisik batu *onyx*:

1. Penyerapan air kurang dari 1%
2. Kepadatan rata-rata 2,7 gr / cm³
3. Kekuatan tekan antara 19 - 140 MPa dan kekuatan tekan rata-rata 110 MPa
4. Kekuatan lentur 6 - 15 MPa
5. Kekuatan tarik rata-rata 4 MPa
6. Porositas relatif rendah dan bervariasi dari 0,3% - 1,2%



Gambar 2.2 Limbah produksi kerajinan batu *onyx* desa Gamping

2.1.5 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy, 2010).

Adapun persyaratan untuk jenis air yang bisa digunakan pada campuran beton sebagai berikut:

1. Air tidak boleh mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2gr/lit.
2. Air yang digunakan tidak mengandung garam-garam yang bisa merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya).
3. Air tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lit

4. Tidak boleh mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lt yang bisa menurunkan kualitas pada beton.

2.1.6 Mix Design

Perencanaan campuran (*mix design*) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis dan ekonomis. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode sebagai berikut dalam (Mulyono, 2004):

1. Metode *American Concrete Institute* (ACI) menjelaskan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya adalah dengan memperhatikan adanya bahan-bahan di lapangan, kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan, dan baiknya kekuatan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).
2. Metode *Road Note No.4*, cara perancangan ini ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan.
3. Metode SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
4. Metode desain campuran *Portland Cement Association* (PCA) dasarnya serupa dengan metode ACI sehingga secara umum hasilnya akan saling mendekati. Penjelasan lebih detail dapat dilihat dalam Publikasi PCA, *Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures, 12th edition., Skokie, Illinois, USA:PCA, 1979,140 pp.*

2.2. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang diberi tulangan dimana luas dan jumlah tulangan tidak kurang dari nilai minimum, disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI, 2002). Beton bertulang merupakan gabungan dua jenis bahan yaitu beton yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik rendah, dan baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa alasan:

1. Lekatan (interaksi antara batangan baja dengan beton keras sekelilingnya) yang mencegah selip dari baja relatif terhadap beton
2. Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton mencegah karat baja

3. Angka kecepatan muai yang hampir sama yakni dari 0,0000055 sampai dengan 0,0000075 untuk beton dan 0,0000065 untuk baja per derajat Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) atau dari 0,000010 sampai 0,000013 untuk beton dan 0,000012 untuk baja per deracat Celcis ($^{\circ}\text{C}$) menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu udara.

2.2.1 Kekuatan Beton Bertulang

Menurut SNI-03-3847-2002, pada perhitungan struktur beton bertulang, beberapa istilah kekuatan suatu penampang adalah sebagai berikut:

1. Kuat nominal, kekuatan suatu komponen struktur yang dihitung dari ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan atau kekuatan beton pada kondisi normal.
2. Kuat rencana, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antar kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan (ϕ).
3. Kuat perlu, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

2.2.2 Balok Persegi Bertulangan Tunggal

Beban-beban luar yang bekerja pada struktur akan menyebabkan lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur yang terjadi pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Apabila beban luar yang bekerja terus bertambah, maka balok akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya terus bertambah sampai batas kapasitas baloknya, maka balok akan runtuh. Taraf pembebanan seperti ini disebut dengan keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Oleh karena itu, pada saat perencanaan, balok harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak berlebihan pada saat beban bekerja dan mempunyai keamanan cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami runtuh.

Adapun jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan tarik (*Under- Reinforced*)

Keruntuhan tarik terjadi bila jumlah tulangan baja tarik sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih

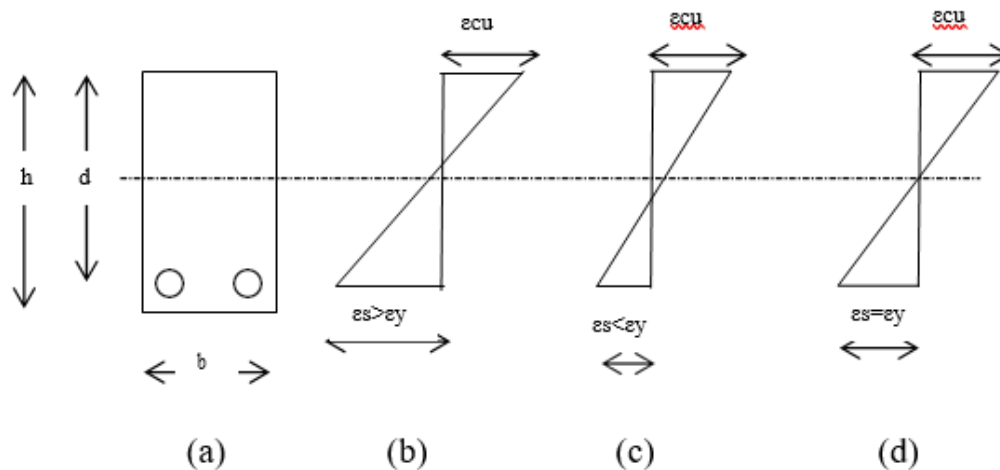
besar dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu perilakunya sama seperti yang dilakukan pada pengujian yaitu terjadi keretakan pada balok tersebut.

2. Keruntuhan tekan (*Over-reinforced*)

Keruntuhan tekan terjadi bila jumlah tulangan vertikal banyak maka keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan bajanya masih elastis, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) lebih kecil dari regangan beton (ϵ_y). Penampang seperti itu sifat keruntuhannya adalah getas (non-daktail). Suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan petanda bilamana struktur tersebut mau runtuh, sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu.

3. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Keruntuhan balance terjadi jika baja dan beton tepat mencapai kuat batasnya, yaitu apabila regangan baja (ϵ_s) sama besar dengan regangan beton (ϵ_y). Jumlah penulangan yang menyebabkan keruntuhan balance dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangan tarik sedikit atau tidak, sehingga sifat keruntuhan daktail atau sebaliknya.



Gambar 2.3 Jenis-jenis keruntuhan lentur

Keterangan Gambar 2.2

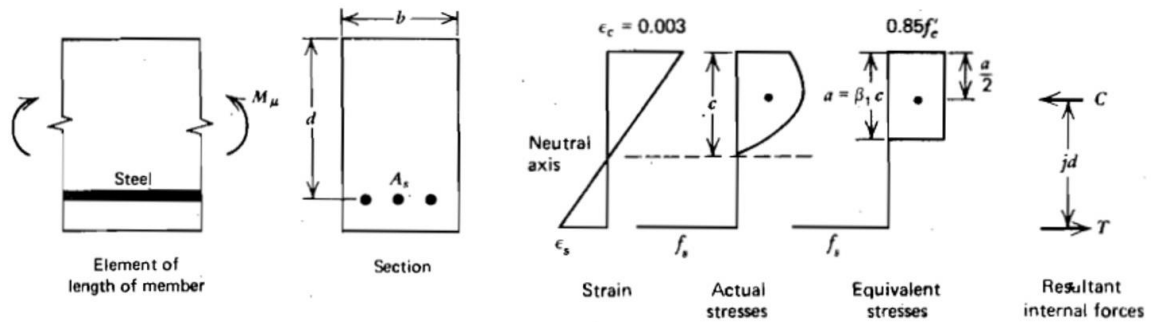
Gambar (a) Penampang balok bertulangan tunggal

Gambar (b) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *under-reinforced*

Gambar (c) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *over-reinforced*

Gambar (d) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *balance*

2.2.3 Perhitungan Kekuatan Lentur Ultimate Balok



Gambar 2.4 Analisa penampang balok bertulangan tunggal

Sumber: R. Park and T. Paulay, 1975

Pada gambar di atas, gaya tekan pada beton (C_c) adalah :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2-1)$$

Dan gaya tarik pada baja (T) adalah :

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2-2)$$

Keseimbangan gaya horizontal (gambar d)

$$\sum H = 0$$

$$T = C_c$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2-3)$$

Besar Momen Nominal Balok Bertulangan Tunggal

$$M_n = C_c \cdot Z \quad (2-4)$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-5)$$

Momen ultimate (M_u) yang dapat dipikul oleh balok adalah :

$$M_u < \phi \cdot M_n \quad (2-6)$$

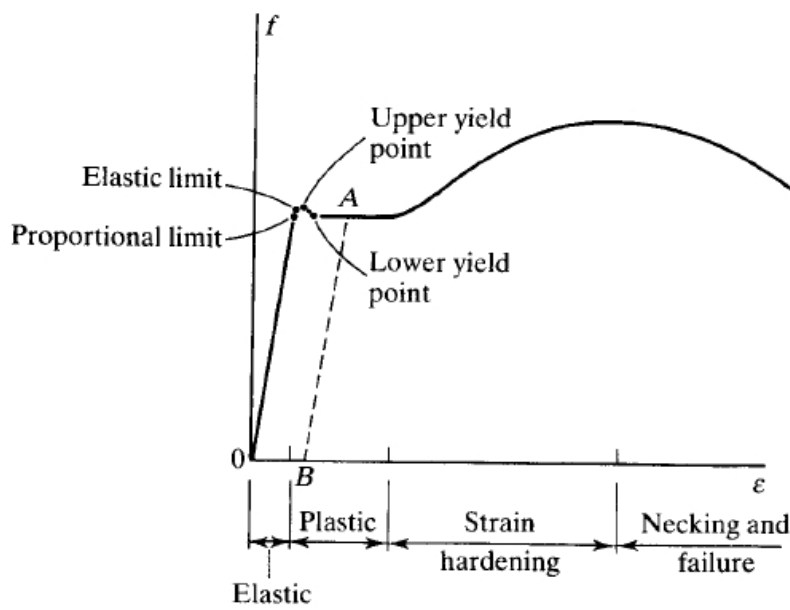
$$M_u = 0,8 \cdot M_n \quad (2-7)$$

2.3 Tulangan Baja

Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat dipakai dalam elemen beton bertulang hanya baja tulangan dan kawat baja. Baja tulangan yang banyak dipasarkan adalah baja

tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir/deform (BJTD). Tulangan polos mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 Mpa (BJTD-30).

Baja tulangan dapat menahan kuat tekan, tetapi harganya relatif mahal dan juga beton sudah dapat menahan kuat tekan maka baja tulangan diutamakan untuk menahan tarik pada struktur beton bertulang. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan
Sumber: William T.Segui, 2007

Keterangan berikut merupakan penjelasan dari Gambar 2.5 :

1. Dalam zona awal regangan, tegangan dan regangan bersifat proporsional, kemiringan linier yang ada merupakan modulus young (E) yang disebut juga sebagai modulus elastisitas. Daerah ini dinamakan sebagai zona elastik, zona ini berakhir dengan ditandai tercapainya kelelahan material (f_y).
2. Setelah awal kelelahan terjadi zona berbentuk garis datar (*flat plateau*), pada zona ini setiap peningkatan nilai regangan yang terjadi tidak ada peningkatan tegangan yang mengiringinya. Daerah ini disebut sebagai zona plastik.
3. Saat zona plato plastik berakhir, *strain hardening* mulai terjadi dan secara bertahap meningkatkan nilai tegangan sampai mencapai ultimit (f_u). Setelah itu tegangan cenderung menurun dengan bertambahnya regangan sebagai indikasi masuknya daerah *necking* yang akan diakhiri dengan kegagalan fraktur.

Bahan baja yang dinilai baik dalam kontribusinya terhadap perilaku struktur terutama dalam memikul beban gempa (siklik) yaitu yang memiliki daerah *strain hardening* dan

daerah *necking* yang panjang. Sifat ini menyebabkan baja akan berperilaku daktil sehingga secara struktural akan berperan besar dalam proses redistribusi tegangan saat terjadinya plastifikasi.

2.4 Lebar Retak

2.4.1 Lebar Retak Maksimum

Lebar retak maksimum yang diizinkan pada struktur bergantung pada fungsi struktur tersebut dan kondisi di sekitar lingkungan struktur. *ACI Commitee 224* memberikan petunjuk mengenai lebar retak maksimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi lingkungan.

Tabel 2.4
Toleransi Lebar Retak Beton

| No | Kondisi Lingkungan | Lebar Retak | |
|----|---|-------------|------|
| | | Inch | mm |
| 1 | Udara kering/membran terlindung | 0,016 | 0,41 |
| 2 | Udara lembab tanah | 0,012 | 0,3 |
| 3 | Senyawa kimia | 0,007 | 0,18 |
| 4 | Air laut basah/kering | 0,006 | 0,15 |
| 5 | Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan) | 0,004 | 0,10 |

Sumber: Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, G.Nawy, Edward, 2010

Lebar retak yang diijinkan oleh *ACI* untuk konstruksi yang berada di laut atau daerah yang basah maka maksimum lebar retak yang diijinkan adalah 0,2 mm. Sedangkan konstruksi yang tahan terhadap cuaca, lebar retak yang diijinkan adalah 0,41 mm. SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 ayat 4 mengatakan bahwa nilai lebar retak yang diperbolehkan tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

2.4.2 Evaluasi Lebar Retak

Lebar retak yang terjadi pada struktur beton bertulang bervariasi dan tidak dapat ditentukan secara tepat. Sehingga syarat pembatasan harus dipenuhi adalah kemungkinan lebar maksimum yang terjadi tidak boleh melebihi lebar retak maksimum. Nilai maksimum lebar retak tergantung kondisi sekitar beton. Pada evaluasi lebar retak ini digunakan untuk menghitung besar lebar maksimum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar, dipakai rumus pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 ayat 4.

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta f_s (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (2-8)$$

Dimana:

ω = lebar retak maksimum (mm)

- f_s = tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beton kerja yang apabila tidak dihitung dapat digunakan $0,6 f_y$
- $\beta = \frac{h-c}{d-c} = \text{harga rata-rata faktor tinggi} = 1,2$
- h = tinggi penampang balok (mm)
- c = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)
- d = tinggi efektif penampang balok (mm)
- d_c = tebal selimut beton sampai pusat tulangan (mm)
- $A = \frac{bt}{\gamma_{bc}}$ dimana γ_{bc} adalah banyaknya tulangan pada sisi yang tertarik

2.5 Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah hasil penelitian yang berkaitan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya:

1. Jurnal berjudul “*Use of waste marble aggregate in concrete*” yang ditulis oleh *H. Hebhou, H. Aoun, M. Belachia, H. Houari, E. Ghorbel dari faculty of architecture, Material and geotechnical laboratory, Univesity of Skikda, Algeria*. Pada penelitian ini bertujuan menunjukkan kemungkinan penggunaan limbah marmer sebagai pengganti dari agregat alami dalam produksi beton. Pada penelitian ini dilakukan dengan 3 cara: yaitu marmer sebagai substitusi agregat kasar, marmer sebagai substitusi agregat kasar dan marmer sebagai substitusi agregat kasar dan halus dengan rasio penggantian adalah sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil penelitian secara detail adalah sebagai berikut :

Jika dilihat dari 3 aspek substitusi material yang ada didapatkan hasil kuat tekan (a) pada substitusi agregat halus terdapat marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar penggantian 50% adalah sebesar 23,65 MPa. (b) Pada substitusi agregat dengan penggantian agregat kasar terhadap marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar 75% adalah sebesar 25,08 MPa. (c) Pada substitusi agregat halus dan agregat kasar terhadap marmer akan menghasilkan kuat tekan maksimum pada kadar 25% yaitu sebesar 22,2 MPa.

2. Jurnal berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Modulus Elastisitas Beton” yang ditulis oleh Abdullah Ghiyats dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Pada penelitian ini menjelaskan *onyx* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar

pada beton, dimana FAS yang digunakan dibuat berbeda yaitu 0,4 ; 0,5 ; dan 0,6 dari penelitian ini didapatkan penjelasan jika penggantian agregat kasar dengan *onyx* membuat modulus elastisitas beton meningkat sebesar 38,59% pada FAS 0,4 pada beton yang berumur 28 hari dibandingkan dengan beton dengan agregat normal.

3. Beta Taufiq Raya (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton didapatkan variasi FAS berpengaruh pada kuat lentur balok. Dapat terlihat beton dengan menggunakan agregat kasar batu *Onyx* FAS 0,4 memiliki kuat lentur rata-rata 5,351 Mpa dan 5,092 untuk agregat kerikil dengan selisih 4,840%. FAS 0,5 agregat kasar batu *Onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 4,157 Mpa dan 4,551 untuk agregat kerikil dan 4,551 Mpa dengan selisih 8,657%. FAS 0,6 agregat kasar batu *Onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 3,128 Mpa dan 3,278 Mpa untuk agregat kerikil dengan selisih 4,795%. Dan FAS yang paling optimum pada penelitian ini adalah FAS 0,4.
4. Aulia Nurul Annisa (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Belah Beton didapatkan Perbandingan kuat tarik belah beton dengan campuran limbah batu *Onyx* dibandingkan dengan beton normal pada masing-masing fas berbeda prosentasenya yaitu sebesar lebih kecil 17.48% pada FAS 0.4, lebih kecil 7.28% pada FAS 0.5 dan lebih besar 9.09% pada FAS 0.6.
5. Dewi Susilowati (2013). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Terak Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Dan Berat Jenis Beton Normal Dengan Metode Mix Design didapatkan pengaruh penggantian terak sebagai pengganti agregat kasar akan mengakibatkan penurunan kuat lentur beton.
6. Jurnal berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas” yang ditulis oleh Soelarso dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh pada kuat tekan. Kuat tekan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi limbah beton 25% sebesar 45,39%, proporsi limbah beton 50% sebesar 56,99%, lalu proporsi limbah beton 75% sebesar 61,65% dan penurunan terbesar pada proporsi limbah beton 100% sebesar 66,62%.

7. Faisal Ananda (2014). Meneliti tentang Perilaku Lendutan dan Retak Pada Balok Bertulang Dengan Tambahan Serat Baja dan Peningkatan Rasio Tulangan didapatkan perbedaan rumusan pendekatan lebar retak yang ada, maka rumus lebar retak untuk beton normal tidak dapat dipakai untuk beton dengan serat baja. Perbedaan rumusan pendekatan lebar retak maksimum teoritis Balasz dan Venkateswarlu terhadap nilai eksperimen sebesar 69,29% dan 70,03 % pada penulangan dimensi 10. Pada penulangan 12 mempunyai perbedaan rata-rata lebar retak sebesar 7,65% dan 43,54% sedangkan pada penulangan 14 mempunyai perbedaan lebar retak hasil eksperimen sebesar 69,53% dan 11,09% terhadap rumusan Balasz dan Venkateswarlu.
8. Rizki Prasetya (2017). Meneliti tentang Eksperimen dan Analisis Lebar Retak pada Balok Beton Bertulang Pasca Paparan Suhu Tinggi didapatkan hasil perhitungan teoritis lebar retak SNI 2002 balok normal mendapatkan hasil yang cenderung mengalami penurunan. Hasil eksperimental lebar retak rata-rata pada saat beban layan pada balok normal sebesar 0,127 mm.

2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan yang terdapat dalam penelitian sebelumnya maka penulis dapat mengambil hipotesis penelitian yaitu:

4. Kuat tekan beton antara agregat normal berbeda dengan agregat batu *onyx*.
5. Lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal berbeda dengan beton agregat normal bertulangan tunggal.
6. Nilai lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal berbeda dengan beton agregat normal bertulangan tunggal.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober tahun 2017.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

1. Satu set ayakan agregat kasar dan halus untuk analisa agregat
2. Cetakan silinder beton untuk pengujian kuat tekan
3. Timbangan kecil dan timbangan kapasitas besar
4. Alat uji kuat tekan
5. Satu set alat uji slump beton segar
6. Alat bantu proses pengecoran (ember, sendok semen, palu karet)
7. Cetakan bekisting balok bertulang
8. *Concrete mixer* (alat pencampur bahan beton)
9. *Loading Frame* untuk pengujian kuat lentur balok
10. *Hydraulic Jack* yang berfungsi untuk memberikan beban bertahap
11. *LVDT* atau alat pembaca perpindahan yang terjadi
12. Mesin penggetar beton (*vibrator concrete*)
13. *Microscope detector*

3.2.2 Bahan Penelitian

1. Semen PPC
2. Agregat kasar batu pecah
3. Agregat kasar batu *Onyx*, berasal dari Kecamatan Campurdarat, Tulungagung
4. Agregat halus pasir lumajang
5. Air PDAM Kota Malang

3.3 Analisis Bahan

1. Semen

Pada pengamatan semen tidak dilaksanakan pengujian yang detail, hanya ada pengamatan secara visual kondisi semen yang baik.

2. Air

Air yang digunakan adalah air PDAM yang sudah dikenal sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh peraturan.

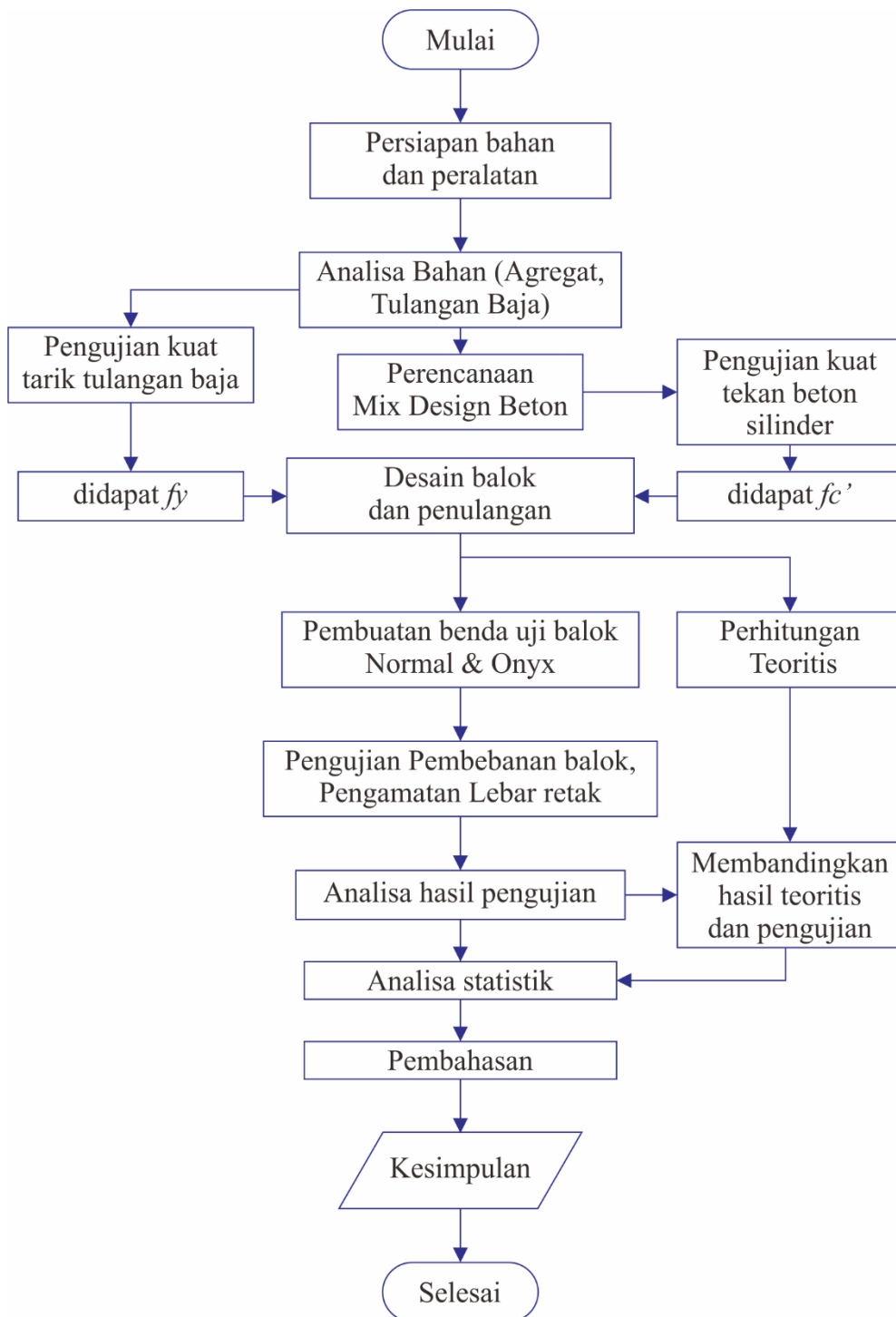
3. Agregat

Agregat yang ada dipilih ukurannya sesuai dengan analisa saringan yang telah ditetapkan, untuk kondisinya dibuat sesuai dengan kondisi di lapangan agar didapatkan penelitian yang sesuai.

4. Baja

Baja yang digunakan adalah baja standar yang sesuai dengan yang ditetapkan pada peraturan SNI 07-2052-2002.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

1. Pengujian Kuat Tekan pada Beton

Pada pengujian kuat tekan beton digunakan 30 buah benda uji dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3.1
Jumlah Benda Uji Beton

| No | Nama Benda Uji | Jumlah Benda Uji |
|----|----------------|------------------|
| | | Kuat Tekan |
| 1 | Beton Normal | 15 |
| 2 | Beton Onyx | 15 |

2. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilaksanakan ketika pengujian tekan beton, dimana setting alat kuat tekan yang telah diberi *LVDT* 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 15 buah untuk masing – masing beton normal dan beton onyx.

3. Jumlah Benda Uji

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 dan dilakukan hingga balok mengalami kehancuran dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.2
Jumlah Benda Uji Balok

| No | Nama Balok Uji | Jumlah Benda Uji |
|----|----------------|------------------|
| 1 | Balok Onyx | 10 Buah |
| 2 | Balok Normal | 10 Buah |

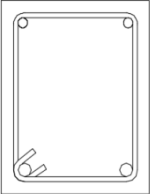
Tabel 3.3
Volume Benda Uji

| No | Nama Pengujian | Jenis Benda Uji | Volume (M3) | Jumlah Benda Uji | Total Volume |
|----|------------------------|-------------------|-------------|------------------|----------------|
| | | | 1 Benda Uji | Buah | m ³ |
| 1 | Kuat Tekan Normal | Silinder | 0.00530357 | 15 | 0.080 |
| 2 | Kuat Tekan Onyx | Silinder | 0.00530357 | 15 | 0.080 |
| 3 | Lentur Rc Balok Normal | Balok (15x25x200) | 0.075 | 10 | 0.75 |
| 4 | Lentur Rc Balok Onyx | Balok (15x25x200) | 0.075 | 10 | 0.75 |

Tabel 3.4
Kebutuhan Material Benda Uji

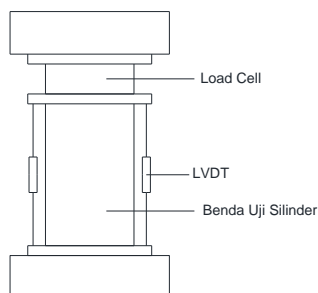
| No | Nama Pengujian | Jenis Benda Uji | Kebutuhan Material Beton (Kg) | | | | |
|----|------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------|-----------|---------|--------|
| | | | 945.31 | 945.31 | 617.19 | 562.50 | 225.00 |
| | | | Onyx | Ag. Kasar | Ag. Halus | Semen | Air |
| 1 | Kuat Tekan Normal | Silinder | | 75.203 | 49.099 | 44.749 | 17.899 |
| 2 | Kuat Tekan Onyx | Silinder | 75.2029 | | 49.099 | 44.749 | 17.899 |
| 3 | Lentur Rc Balok Normal | Balok (15x25x200) | | 708.983 | 462.890 | 421.876 | 168.75 |
| 4 | Lentur Rc Balok Onyx | Balok (15x25x200) | 708.983 | | 462.890 | 421.876 | 168.75 |

Tabel 3.5
Detail Penulangan Balok

| No | Gambar Penampang | Dimensi (m') l x t x p | Tulangan Utama | Tulangan Geser |
|----|--|---------------------------|----------------|----------------|
| | | | Bawah | |
| 1 |  | 0.15 x 0.25 x 2 | 2 ϕ 12 | Φ 8 - 150 |

3.6 Persiapan Benda Uji

3.6.1 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 3.2 Setting pengujian kuat tekan

Langkah-langkah pengujian kuat tekan dan pembacaan regangan beton adalah sebagai berikut:

1. Pengujian ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
2. Siapkan benda uji yang telah melewati masa curing dan memenuhi umur.
3. Meratakan permukaan silinder dengan menggunakan capping.

4. Membuat form pengisian data kuat tekan dan nilai *LVDT* untuk memudahkan dalam pencatatan data penelitian.
5. Mengeset alat *compressometer* pada posisi angka bacaan nol terlebih dahulu, dan kemudian meletakkan benda uji ke bawah *load cell* atau tempat uji tekan.
6. Memasang ekstensometer beserta *LVDT* pada benda uji, dan sekaligus mengecek secara keseluruhan persiapan.
7. Melakukan pengujian, dengan memberikan beban yang menaik dengan kecepatan konstan.
8. Mencatat nilai besarnya nilai perpendekan yang ada pada *LVDT* pada setiap penambahan beban 5 kN hingga pengujian selesai dilaksanakan.
9. Dengan pengujian ini didapatkan nilai tegangan dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

Keterangan :

σ = Tegangan (kN/cm²)

P = Beban (kN)

A = Luas permukaan silinder (cm²)

10. Setelah nilai bacaan pada *LVDT* didapatkan nilai regangan yang terjadi dapat dicari dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3-2)$$

Keterangan :

ε = Regangan

Δl = Nilai perpendekan (mm)

l = Tinggi beton awal (mm)

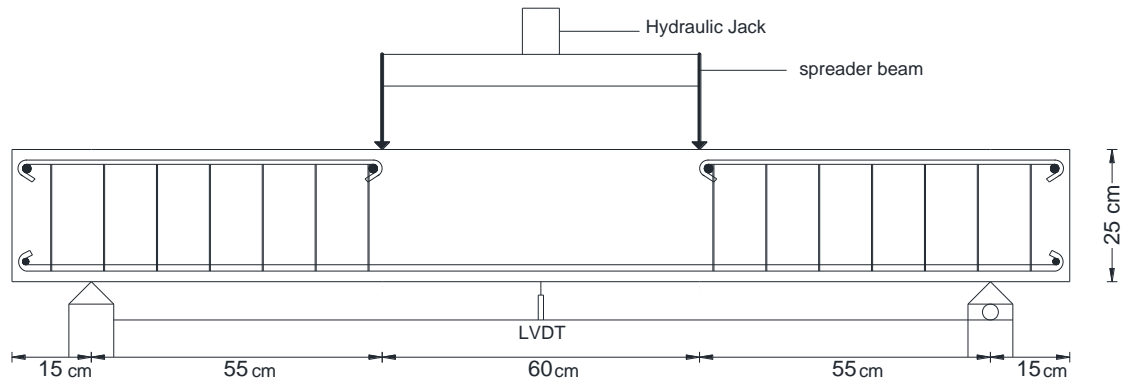
11. Hasil bacaan *LVDT* dan beban yang diberikan diakumulasikan seluruhnya.

3.6.2 Pengujian Lebar Retak

Langkah-langkah pengujian lebar retak balok adalah sebagai berikut :

1. Pengujian ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
2. Menyiapkan spesimen benda uji yang telah melewati masa curing dan umur yang telah ditetapkan.
3. Menyiapkan benda uji *4 point loading*, dengan setting pengujian pada *loading frame* sesuai dengan gambar dibawah.

- Melaksanakan pengujian dengan memberi beban kelipatan 200 kg hingga beban *ultimate*, dengan dilakukan pengukuran lebar retak menggunakan *microscope detector*.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Pembebanan dan Pengujian Balok

3.7 Variabel Penelitian

- Variabel bebas dengan kata lain dapat diartikan variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan, dengan kata lain merupakan faktor – faktor yang diukur dan dibuat beda oleh peneliti dalam melihat suatu perilaku yang sedang diteliti. Pada penelitian ini variabel bebas yang dilakukan adalah jenis agregat kasar yang digunakan.
- Variabel terikat dengan kata lain dapat diartikan sebagai variabel tergantung, artinya merupakan hal – hal yang diamati oleh peneliti dalam menentukan besarnya pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah kuat tekan beton dan lebar retak maksimum *onyx*.

Tabel 3.6

Variabel Penelitian

| No | Jenis Variabel | Keterangan |
|----|------------------|--|
| 1. | Variabel bebas | 1. Jenis Agregat |
| 2. | Variabel terikat | 1. Kuat Tekan Beton 2. Kuat Lentur Beton Bertulang 3. Lebar Retak Maksimum <i>Onyx</i> |

3.8 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data dimulai dari analisa 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*, setelah itu dilaksanakan penelitian kuat lentur balok yang diuji pada *loading*

frame. Pada pengujian balok beton bertulang tersebut didapatkan data kuat lentur sesuai dengan beban yang diberikan pada benda uji. Selain itu dilakukan pengukuran lebar retak dengan *crack detector microscope*.

3.9 Analisis Data

1. Non-Statistik Deskriptif

Bila data-data uji pengamatan lebar retak pada beton diperoleh, maka dilanjutkan dengan analisis secara non statistik yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh agregat *onyx* sebagai pengganti agregat kasar beton bertulang pada balok. Analisis ini dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung. Setelah data didapatkan dilanjutkan dengan analisis yang bersifat membandingkan lebar retak yang terjadi pada beton *onyx* dan beton normal.

Metode deskriptif merupakan pencarian fakta dengan interpretasi yang tepat. Metode ini digunakan untuk menganalisis serta menjelaskan secara teliti dan rinci lebar retak yang terjadi pada balok.

2. Uji Statistik Independent Sample T-test

Uji ini untuk mengetahui perbedaan rata-rata dua populasi/kelompok data yang independen. Uji T independen ini memiliki asumsi/syarat yang mesti dipenuhi, yaitu :

- a) Datanya berdistribusi normal.
- b) Kedua kelompok data independen (bebas).
- c) Variabel yang dihubungkan berbentuk numerik dan kategorik (dengan hanya 2 kelompok)

Rumus Independent T-Test yaitu:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (3-3)$$

$$T_{hit} = \frac{x_1 - x_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (3-4)$$

Keterangan :

- x_1 = rata-rata kelompok 1
- x_2 = rata-rata kelompok 2
- s = simpangan baku gabungan
- n_1 = jumlah sampel kelompok 1
- n_2 = jumlah sampel kelompok 2

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar Pembuatan Beton

4.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen PPC (*Portland Pozolan Cement*) jenis IP-U dari PT.Semen Gresik. Pengujian tidak dilakukan namun semen PPC telah memenuhi standar sesuai dengan SNI 15 – 0302 – 2004, serta telah memenuhi syarat pengujian kimia dan fisika sesuai dengan SNI 15 – 2049 – 2004.

4.1.2 Air

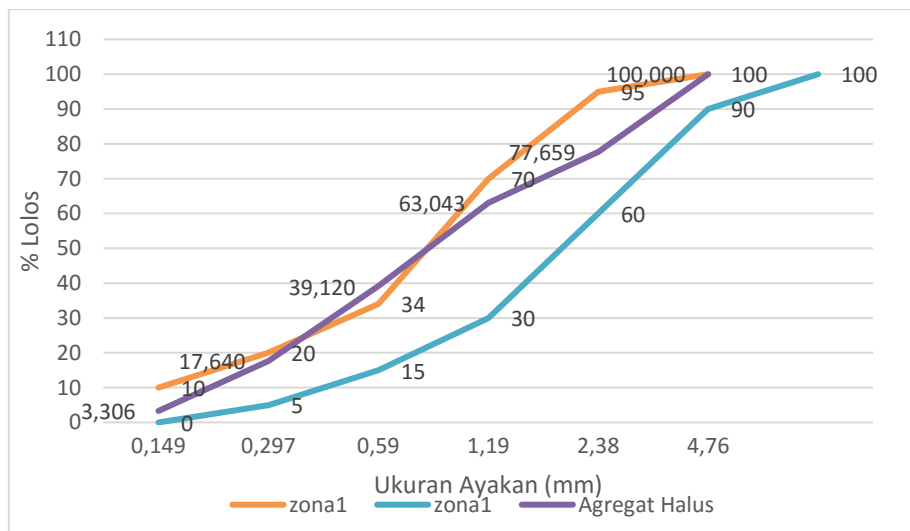
Air yang digunakan adalah air PDAM kota Malang yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh peraturan dan tidak dilakukan pengujian terhadap air.

4.1.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu pasir Lumajang. Hasil pengujian agregat halus sebagai berikut:

1. Analisa Saringan dan Kadar Lumpur

Hasil pengujian analisa saringan pasir Lumajang masuk pada zona 1. Pembagian zona 1 agregat halus dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik analisa saringan pasir zona 1

Nilai modulus halus butir pasir Lumajang adalah 3,0668 %. Pasir ini memenuhi persyaratan ASTM C-33 yaitu 2,20%-3,10%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian terhadap pasir tersebut.

2. Kadar Air

Hasil pengujian kadar air pasir didapatkan sebesar 0,05%. Kadar air diperlukan untuk memperhitungkan jumlah air yang terdapat atau dibutuhkan oleh agregat halus.

3. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air diperoleh berat jenis kering oven (*bulk*) sebesar 2,507 , berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) sebesar 2,52 , berat jenis semu (*apparent*) sebesar 2,541 , dan penyerapan sebesar 0,526% dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

| Keterangan | Satuan | Nilai |
|---|---------------|--------------|
| Penyerapan Air (Absorption) | % | 0,526 |
| Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity) | - | 2,507 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry) | - | 2,52 |
| Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity) | - | 2,541 |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan nilai berat jenis agregat halus sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,6%-3,2% dan nilai penyerapan air sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 0,2% - 2%.

4.1.4 Agregat Kasar

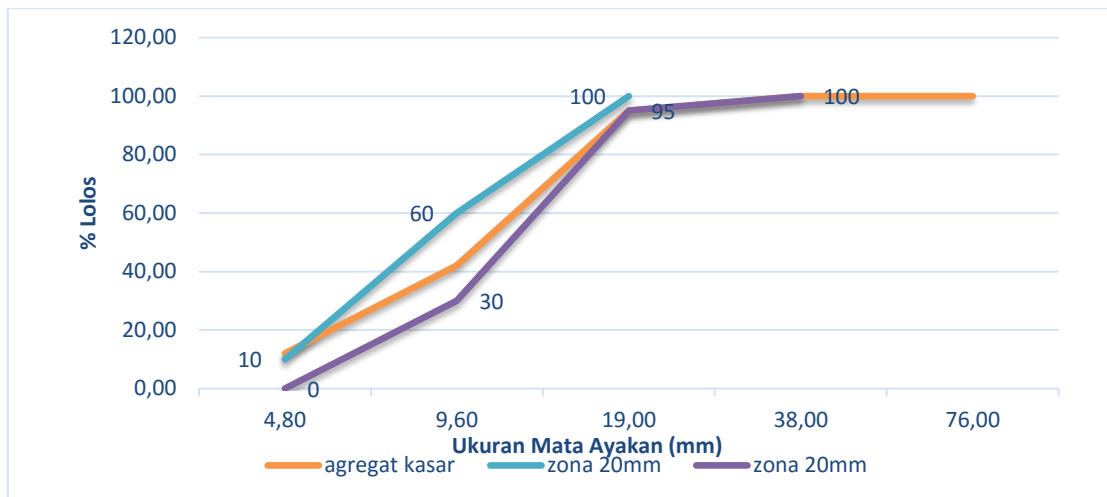
Agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil dari Pasuruhan dan agregat *onyx* dari Tulungagung. Pengujian agregat kasar yang dilakukan yaitu analisa ayakan, kadar lumpur, berat jenis SSD, berat isi volume, penyerapan dan kadar air.

4.1.4.1 Agregat Kasar Kerikil

Hasil pengujian kerikil yang dilakukan sebagai berikut:

1. Analisa Saringan

Hasil pengujian analisa saringan kerikil masuk pada zona 2. Pembagian zona 2 agregat kasar kerikil dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik analisa saringan kerikil zona 2

Nilai modulus halus butir kerikil adalah 6,26 %. Kerikil ini memenuhi persyaratan ASTM C-33 yaitu 6%-7,1%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian terhadap kerikil tersebut.

2. Kadar Air

Hasil pengujian kadar air kerikil didapatkan sebesar 0,0055%. Kadar air diperlukan untuk memperhitungkan jumlah air yang terdapat atau dibutuhkan oleh agregat kasar kerikil.

3. Berat Volume

Hasil pengujian berat volume kerikil diperoleh berat isi rata-rata sebesar 1,52 gram/cm³ sehingga kerikil memenuhi syarat agregat normal sesuai ASTM C-33 yaitu 1,6-1,9 kg/liter.

4. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air diperoleh berat jenis kering oven (*bulk*) sebesar 2,702 , berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) sebesar 2,727, berat jenis semu (*apparent*) sebesar 2,772 , dan penyerapan sebesar 0,933% dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Kerikil

| Keterangan | Satuan | Nilai |
|---|--------|-------|
| Penyerapan Air (Absorption) | % | 0,933 |
| Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity) | - | 2,702 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry) | - | 2,727 |
| Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity) | - | 2,772 |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

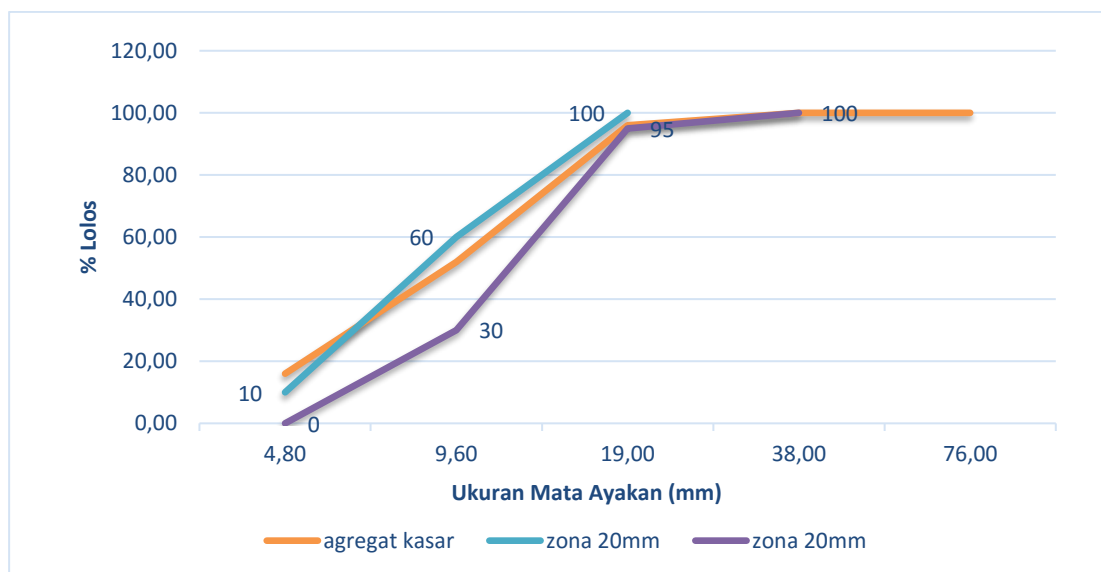
Berdasarkan nilai berat jenis agregat kasar kerikil sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,6%-3,2% dan nilai penyerapan air sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu kurang dari 1%.

4.1.4.2 Agregat Kasar *Onyx*

Hasil pengujian agregat *onyx* yang dilakukan sebagai berikut:

1. Analisa Saringan

Hasil pengujian analisa saringan agregat *onyx* masuk pada zona 2. Pembagian zona 2 agregat kasar *onyx* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik analisa saringan agregat *onyx* zona 2

Nilai modulus halus butir agregat *onyx* adalah 5,96%. Agregat *onyx* ini tidak memenuhi persyaratan ASTM C-33 yaitu 6%-7,1%. Hal tersebut dikarenakan gradasi agregat dari limbah agregat *onyx* tidak dapat dibuat gradasi yang baik. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian terhadap agregat *onyx* tersebut.

2. Kadar Air

Hasil pengujian kadar air agregat *onyx* didapatkan sebesar 0,0055%. Kadar air diperlukan untuk memperhitungkan jumlah air yang terdapat atau dibutuhkan oleh agregat kasar agregat *onyx*.

3. Berat Volume

Hasil pengujian berat volume agregat *onyx* diperoleh berat isi rata-rata sebesar 1,45 gram/cm³ sehingga kerikil memenuhi syarat agregat normal sesuai ASTM C-33 yaitu 1,6-1,9 kg/liter.

4. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air diperoleh berat jenis kering oven (*bulk*) sebesar 2,702, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) sebesar 2,727, berat jenis semu (*apparent*) sebesar 2,772, dan penyerapan sebesar 0,933% dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Agregat *Onyx*

| Keterangan | Satuan | Nilai |
|---|--------|-------|
| Penyerapan Air (Absorption) | % | 0,933 |
| Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity) | - | 2,702 |
| Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry) | - | 2,727 |
| Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity) | - | 2,772 |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan nilai berat jenis agregat kasar agregat *onyx* sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,6%-3,2% dan nilai penyerapan air sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu kurang dari 1%.

4.2 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton atau *mix design* beton bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis pengujian.

Tabel 4.4

Mix Design Agregat *Onyx* dan Agregat Kerikil

| No | Uraian | Tabel / Grafik | Agregat Onyx | Agregat Kerikil | Satuan |
|----|--|----------------------|----------------|-----------------|--------|
| 1 | Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%) | Ditetapkan | 20 | 20 | Mpa |
| 2 | Deviasi standar | Diketahui | - | - | |
| 3 | Nilai Tambah (Margin) | (K=1,64) 1,64*(2) | 12 | 12 | Mpa |
| 4 | Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan | (1) + (3) | 32 | 32 | Mpa |
| 5 | Jenis Semen | Ditetapkan | PPC | PPC | |
| 6 | Jenis Agregat Kasar | Ditetapkan | Agregat Onyx | Kerikil | |
| | Jenis Agregat Halus | Ditetapkan | Pasir Lumajang | Pasir Lumajang | |
| 7 | Faktor Air semen Bebas | Tabel 2, Grafik 1/2 | 0,4 | 0,4 | |
| 8 | Faktor air semen Maksimum | Ditetapkan | 0,6 | 0,6 | |

| No | Uraian | Tabel / Grafik | Agregat Onyx | Agregat Kerikil | Satuan |
|----|-----------------------------------|--------------------|--------------|-----------------|-------------------|
| 9 | Slump | Ditetapkan | 60 - 180 mm | 60 - 180 mm | |
| 10 | Ukuran Agregat Maksimum | Ditetapkan | 20 | 20 | mm |
| 11 | Kadar Air Bebas | Tabel 3 | 205 | 205 | kg/m ³ |
| 12 | Jumlah semen | (11) : (7) | 512,5 | 512,5 | kg/m ³ |
| 13 | Jumlah Semen Maksimum | Ditetapkan | - | - | |
| 14 | Jumlah Semen Minimum | Tabel 4,5,6 | 275 | 275 | kg/m ³ |
| 15 | FAS yg disesuaikan | - | - | - | |
| 16 | Susunan besar butir agregat halus | Grafik 3 - 6 | Zona 1 | Zona 1 | |
| 17 | Persen agregat halus | Grafik 13 - 15 | 0,44 | 0,44 | |
| 18 | Berat jenis relatif agregat (SSD) | Diketahui | 2,569 | 2,636 | kg/m ³ |
| 19 | Berat isi beton | Grafik 16 | 2310 | 2360 | kg/m ³ |
| 20 | Kadar agregat gabungan | (19) - (11) - (12) | 1592,5 | 1642,5 | kg/m ³ |
| 21 | Kadar agregat halus | (17) * (20) | 700,7 | 722,7 | kg/m ³ |
| 22 | Kadar agregat kasar | (20) - (21) | 891,8 | 919,8 | kg/m ³ |

Tabel 4.5
Campuran Beton Normal

| Banyaknya Bahan | Semen (kg) | Air (kg/lt) | Pasir (kg) | Kerikil (kg) |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis) | 512,50 | 205,00 | 722,70 | 919,80 |
| Tiap campuran uji 0,1 m3 | 51,25 | 20,50 | 72,27 | 91,98 |
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual) | 512,50 | 216,52 | 719,26 | 911,72 |
| Tiap campuran uji 0,1 m3 | 51,25 | 21,65 | 71,93 | 91,17 |

Tabel 4.6
Campuran Beton *Onyx*

| Banyaknya Bahan | Semen (kg) | Air (kg/lt) | Pasir (kg) | Onyx (kg) |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis) | 512,50 | 205,00 | 700,70 | 891,80 |
| Tiap campuran uji 0,1 m3 | 51,25 | 20,50 | 70,07 | 89,18 |
| Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual) | 512,50 | 211,29 | 697,37 | 888,84 |
| Tiap campuran uji 0,1 m3 | 51,25 | 21,13 | 69,74 | 88,88 |

4.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan sebenarnya dari tulangan yang digunakan dalam penelitian ini. Tulangan baja yang digunakan terdiri dari tulangan $\varnothing 12$ mm sebagai tulangan utama, dan tulangan $\varnothing 8$ mm sebagai sengkang.

Tabel 4.7
Tegangan Leleh Baja Tulangan $\varnothing 8$ mm

| Nama Pengukuran | $\varnothing 8-1$ | $\varnothing 8-2$ | $\varnothing 8-3$ | $\varnothing 8-4$ | Rata - Rata | Satuan |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| Diameter | 7,670 | 7,690 | 7,450 | 7,450 | 7,565 | mm |
| Panjang Awal | 80 | 80 | 80 | 80 | 80,000 | mm |
| Berat | 362 | 364 | 342 | 342 | 352,500 | gr/m |
| Luas Awal | 46,160 | 46,420 | 43,610 | 43,610 | 44,950 | mm ² |
| Beban Leleh | 17,500 | 17,600 | 17,500 | 17,400 | 17,500 | KN |
| Pertambahan Panjang Leleh | 3,500 | 3,750 | 3 | 3,500 | 3,438 | mm |
| Beban Putus | 19 | 19,2 | 19,2 | 18,8 | 19,050 | KN |
| Pertambahan Panjang Putus | 33,500 | 32 | 33 | 36,750 | 33,813 | mm |
| Py | 17500 | 17600 | 17500 | 17400 | 17500 | N |
| ϵ_y | 4,375 | 4,688 | 3,750 | 4,375 | 4,297 | % |
| fy | 379,116 | 379,147 | 401,284 | 398,991 | 389,635 | MPa |
| Pu | 19000 | 19200 | 19200 | 18800 | 19050 | N |
| ϵ_u | 41,875 | 40,000 | 41,250 | 45,938 | 42,266 | % |
| fu | 411,612 | 413,615 | 440,266 | 431,094 | 424,147 | MPa |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.8
Tegangan Leleh Baja Tulangan $\varnothing 12$ mm

| Nama Pengukuran | $\varnothing 12-1$ | $\varnothing 12-2$ | $\varnothing 12-3$ | $\varnothing 12-4$ | Rata - Rata | Satuan |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----------------|
| Diameter | 11,770 | 11,790 | 11,840 | 11,830 | 11,808 | mm |
| Panjang Awal | 120,000 | 120,000 | 120,000 | 120,000 | 120,000 | mm |
| Berat | 853,330 | 855,830 | 863,330 | 861,600 | 858,523 | gr/m |
| Luas Awal | 108,847 | 109,140 | 110,100 | 109,890 | 109,494 | mm ² |
| Beban Leleh | 36,700 | 37,000 | 37,300 | 37,200 | 37,050 | KN |
| Pertambahan Panjang Leleh | 7,000 | 5,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | mm |
| Beban Putus | 38,500 | 39,000 | 39,200 | 39,300 | 39,000 | KN |
| Pertambahan Panjang Putus | 53,000 | 50,000 | 56,000 | 47,000 | 51,500 | mm |
| Py | 36700 | 37000 | 37300 | 37200 | 37050 | N |
| ϵ_y | 5,833 | 4,167 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | % |
| fy | 337,170 | 339,014 | 338,783 | 338,520 | 338,372 | MPa |
| Nama Pengukuran | $\varnothing 12-1$ | $\varnothing 12-2$ | $\varnothing 12-3$ | $\varnothing 12-4$ | Rata - Rata | Satuan |

| | | | | | | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| Pu | 38500 | 39000 | 39200 | 39300 | 39000 | N |
| ϵ_u | 44,167 | 41,667 | 46,667 | 39,167 | 42,917 | % |
| fu | 353,707 | 357,339 | 356,040 | 357,630 | 356,179 | MPa |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.4 Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan uji slump yang bertujuan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan pengerjaan campuran adukan beton. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9
Pengujian Slump

| No | Beton Normal | Nilai Slump (cm) | Rata-rata Nilai Slump (cm) | Beton Onyx | Nilai Slump (cm) | Rata-rata Nilai Slump (cm) |
|----|--------------|------------------|----------------------------|------------|------------------|----------------------------|
| 1 | N1 | 16 | 15,83 | O1 | 15,6 | 15,39 |
| 2 | N2 | 20 | | O2 | 15 | |
| 3 | N3 | 18,3 | | O3 | 16 | |
| 4 | N4 | 15 | | O4 | 14,5 | |
| 5 | N5 | 15 | | O5 | 16 | |
| 6 | N6 | 13,5 | | O6 | 15 | |
| 7 | N7 | 15,5 | | O7 | 15,2 | |
| 8 | N8 | 15 | | O8 | 15,6 | |
| 9 | N9 | 14,8 | | O9 | 16 | |
| 10 | N10 | 15,2 | | O10 | 15 | |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Hasil pengujian beton segar agregat kerikil dan agregat *onyx* sesuai dengan nilai slump yang direncanakan yaitu 60-180 mm. Dimana rata-rata nilai slump beton normal 15,83 cm sedangkan rata-rata nilai slump beton *onyx* 15,39 cm.

4.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian beton keras dilakukan pengujian berupa 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*”. Pada pengujian kuat tekan beton digunakan total 40 benda uji silinder, dengan masing – masing 20 buah benda uji untuk beton dengan agregat kasar agregat kerikil dan agregat kasar limbah *onyx*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11

Tabel 4.10
Pengujian 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 | |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.11
Pengujian 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-S1 | 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 | |

| No | Kode Beton | Umur (hari) | Berat (kg) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa) |
|----|------------|-------------|------------|------------------|----------------------------------|
| 16 | O9-S2 | 28 | 13 | 31,49 | |
| 17 | O10-S1 | 28 | 13 | 32,99 | |
| 18 | O10-S2 | 28 | 13,2 | 35,88 | |

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.8 dan 4.9 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. Menunjukkan kuat tekan rata – rata beton agregat onyx lebih kecil dari beton agregat normal namun masih memenuhi kuat tekan rencana yaitu 32 Mpa.

Untuk membuktikan kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar daripada beton onyx dilakukan uji statistik berupa uji T.

Hipotesa : $H_0 = X_1 \leq X_2$, Kuat tekan beton onyx tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal

$H_a = X_1 > X_2$, Kuat tekan beton onyx lebih baik dari kuat tekan beton normal

Uji t (perhitungan nilai t)

Tolak H_0 apabila harga t hitung(t_0) sama atau lebih besar dari harga tabel ($t(1-\alpha)(db)$)

Uji Homogenitas

Hipotesis : $H_0 = X_1 \geq X_2$ Kedua varians homogen

$H_a = X_1 < X_2$ Kedua varian tidak homogen (heterogen)

Uji F (perhitungan nilai F)

Tolak H_0 apabila harga Fhitung(F_0) sama atau lebih besar dari harga Ftab ($F(\alpha)(n_1-1, n_2-1)$)

Tabel 4.12

Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton *Onyx*

| No | Kode | X | Xrt | X-Xrt | (X-Xrt) ² |
|----|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 1 | O1-S1 | 31,78 | 32,92 | -1,14 | 1,29 |
| 2 | O1-S2 | 37,56 | | 4,64 | 21,56 |
| 3 | O2-S1 | 32,94 | | 0,02 | 0,0004 |
| 4 | O2-S1 | 27,56 | | -5,36 | 28,69 |
| 5 | O3-S1 | 35,02 | | 2,10 | 4,42 |
| 6 | O3-S2 | 31,2 | | -1,72 | 2,95 |
| 7 | O4-S1 | 34,67 | | 1,75 | 3,07 |
| 8 | O5-S1 | 32,94 | | 0,02 | 0,0004 |
| 9 | O6-S1 | 32,36 | | -0,56 | 0,31 |
| 10 | O6-S2 | 32,94 | | 0,02 | 0,0004 |
| 11 | O7-S1 | 37,27 | | 4,35 | 18,95 |

| No | Kode | X | Xrt | X-Xrt | (X-Xrt) ² |
|--------|--------|-------|-----|-------|----------------------|
| 12 | O7-S2 | 31,72 | | -1,20 | 1,43 |
| 13 | O8-S1 | 33,86 | | 0,94 | 0,89 |
| 14 | O8-S2 | 27,79 | | -5,13 | 26,28 |
| 15 | O9-S1 | 32,53 | | -0,39 | 0,15 |
| 16 | O9-S2 | 31,49 | | -1,43 | 2,04 |
| 17 | O10-S1 | 32,99 | | 0,07 | 0,014 |
| 18 | O10-S2 | 35,88 | | 2,96 | 8,78 |
| Jumlah | | | | | 120,83 |

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Onyx} = \sqrt{\frac{120,83}{(18 - 1)}}$$

$$Sd \text{ onyx} = 2,66603$$

$$S^2 \text{ onyx} = 7,10769$$

Tabel 4.13

Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton Normal

| No | Kode Beton | X | Xrt | X-Xrt | (X-Xrt) ² |
|--------|------------|-------|-------|--------|----------------------|
| 1 | N1-S1 | 30,8 | 35,72 | -4,92 | 24,24 |
| 2 | N1-S2 | 25,77 | | -9,95 | 99,08 |
| 3 | N2-S1 | 30,91 | | -4,81 | 23,17 |
| 4 | N3-S1 | 23,11 | | -12,61 | 159,11 |
| 5 | N4-S1 | 31,78 | | -3,94 | 15,55 |
| 6 | N5-S1 | 40,16 | | 4,44 | 19,68 |
| 7 | N5-S2 | 43,68 | | 7,96 | 63,30 |
| 8 | N6-S1 | 41,78 | | 6,06 | 36,68 |
| 9 | N6-S2 | 30,11 | | -5,61 | 31,51 |
| 10 | N7-S1 | 38,77 | | 3,05 | 9,28 |
| 11 | N7-S2 | 37,67 | | 1,95 | 3,79 |
| 12 | N8-S1 | 37,56 | | 1,84 | 3,37 |
| 13 | N8-S2 | 39,87 | | 4,15 | 17,19 |
| 14 | N9-S1 | 38,71 | | 2,99 | 8,92 |
| 15 | N10-S1 | 41,03 | | 5,31 | 28,16 |
| 16 | N10-S2 | 39,87 | | 4,15 | 17,19 |
| Jumlah | | | | | 560,22 |

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Normal} = \sqrt{\frac{560,22}{(16 - 1)}}$$

Sd normal = 6,11132

S^2 normal = 37,3482

Tabel 4.14
Perbandingan Nilai Onyx dan Normal

| Dicari | Onyx | Normal |
|---------------------|--------|---------|
| Jumlah sampel (n) | 18 | 16 |
| Rata - rata (x) | 32,92 | 35,72 |
| Simpangan baku (Sd) | 2,6660 | 6,1113 |
| Varians (S^2) | 7,1077 | 37,3482 |

$$F \text{ hitung} = \frac{S^2 \text{ Onyx}}{S^2 \text{ Normal}}$$

$$F \text{ hitung} = \frac{7,1077}{37,3482}$$

$$F \text{ hitung} = 0.19031$$

$$F_{0,05(17,15)} = 2.36827$$

$F \text{ hit} < F \text{ tab}$, H_0 diterima kedua Variasi homogen

Perhitungan T

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(18 - 1)7,10769 + (16 - 1)37,3482}{18 + 16 - 2}}$$

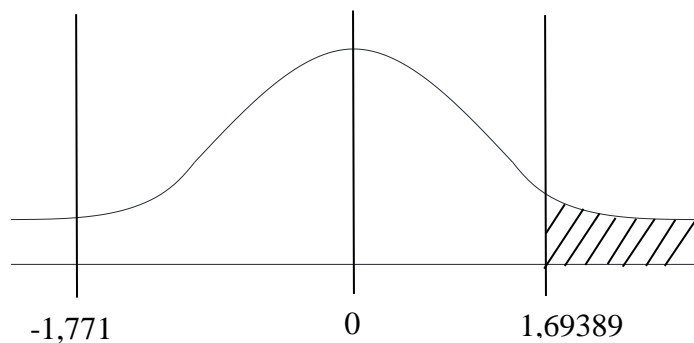
$$S = 4.6133$$

$$T \text{ hit} = \frac{x_1 - x_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$T \text{ hit} = \frac{32,92 - 35,72}{4,61334 \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{16}}}$$

$$T \text{ hit} = -1,771$$

$$t \text{ tabel } T_{0,05(32)} = 1,69389$$



Gambar 4.4 Distribusi T satu arah

Tolak H_0 apabila harga thitung(t_0) sama atau lebih besar dari harga ttabel ($T(\alpha)(db)$), H_0 diterima kuat tekan beton onyx tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal.

4.6 Hasil Lebar Retak

4.6.1 Pengamatan Lebar Retak Balok Beton Bertulang Normal RC-N1 sampai dengan RC-N10

Berikut merupakan salah satu gambar pengamatan lebar retak pada beton normal RC-N8 yang telah dilakukan.



Gambar 4.5 Pengamatan lebar retak RC-N8

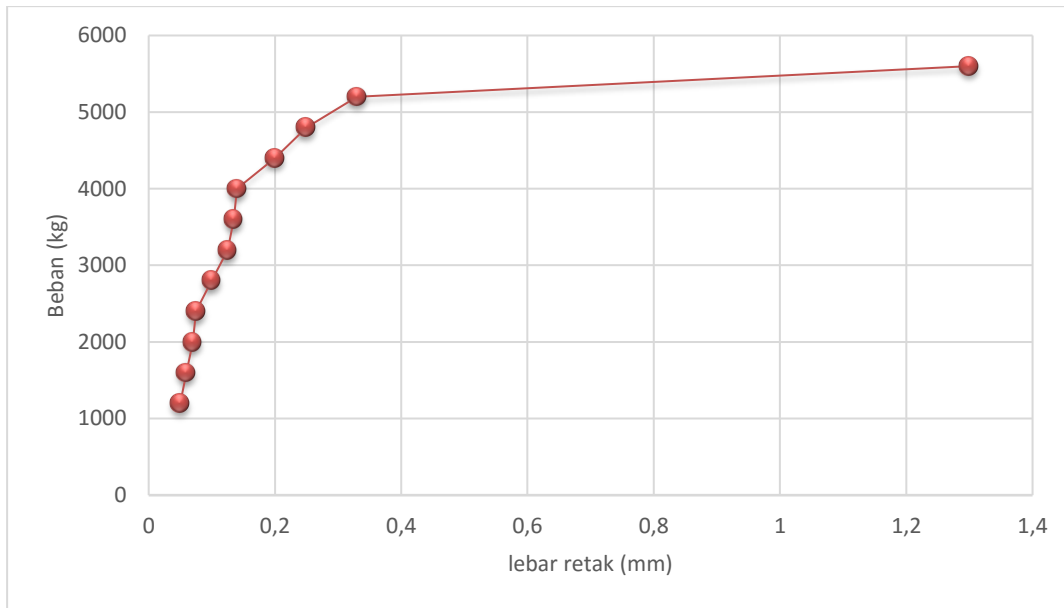
4.6.1.1 Lebar Retak RC-N1

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15

Pengamatan Lebar Retak RC-N1

| Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1200 | 0,050 |
| 1600 | 0,060 |
| 2000 | 0,070 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,135 |
| 4000 | 0,140 |
| 4400 | 0,200 |
| 4800 | 0,250 |
| 5200 | 0,330 |
| 5600 | 1,300 |



Gambar 4.6 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N1

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N1, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1200 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N1 yaitu 0,114. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N1 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,3 mm.

4.6.1.2 Lebar Retak RC-N2

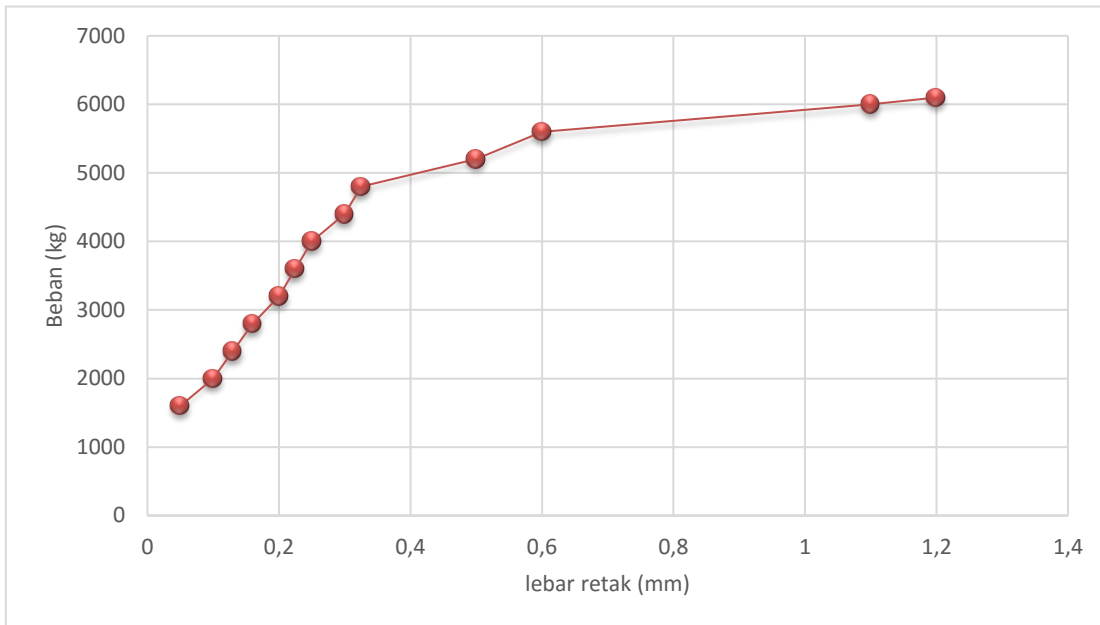
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16

Pengamatan Lebar Retak RC-N2

| Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,050 |
| 2000 | 0,100 |
| 2400 | 0,130 |
| 2800 | 0,160 |
| 3200 | 0,200 |
| 3600 | 0,225 |
| 4000 | 0,250 |
| 4400 | 0,300 |
| 4800 | 0,325 |
| 5200 | 0,500 |
| 5600 | 0,600 |

| | |
|------|-------|
| 6000 | 1,100 |
| 6100 | 1,200 |



Gambar 4.7 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N2

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N2, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N2 yaitu 0,096. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N2 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,2 mm.

4.6.1.3 Lebar Retak RC-N3

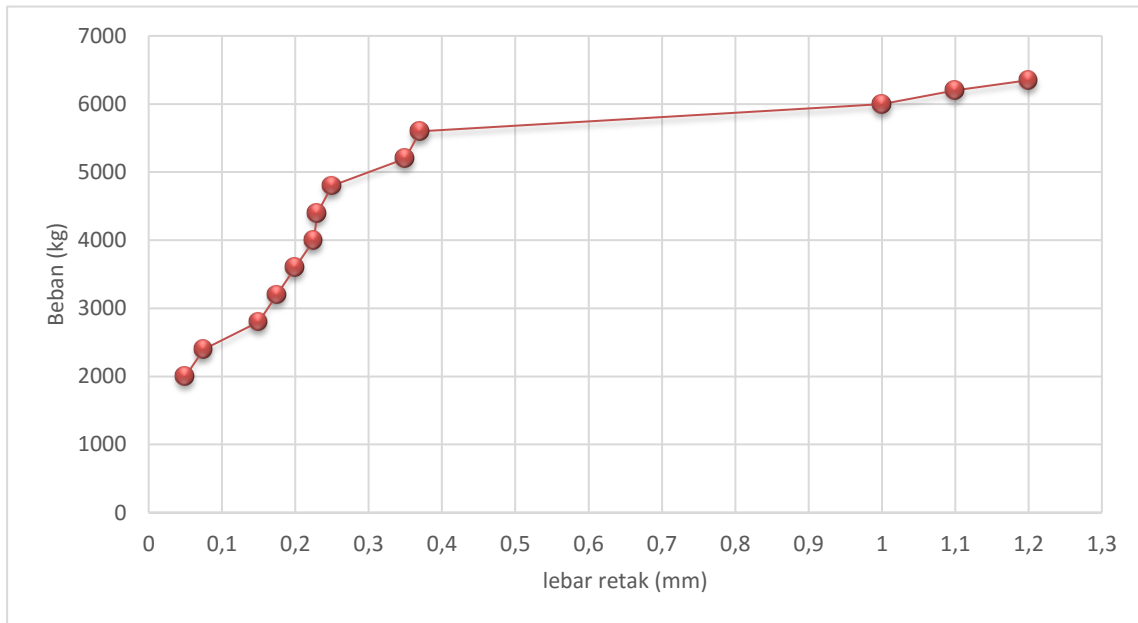
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17

Pengamatan Lebar Retak RC-N3

| Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2000 | 0,050 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,150 |
| 3200 | 0,175 |
| 3600 | 0,200 |
| 4000 | 0,225 |
| 4400 | 0,230 |
| 4800 | 0,250 |

| | |
|------|-------|
| 5200 | 0,350 |
| 5600 | 0,370 |
| 6000 | 1,000 |
| 6200 | 1,100 |
| 6350 | 1,200 |



Gambar 4.8 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N3

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N3, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N3 yaitu 0,096. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N3 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,2 mm.

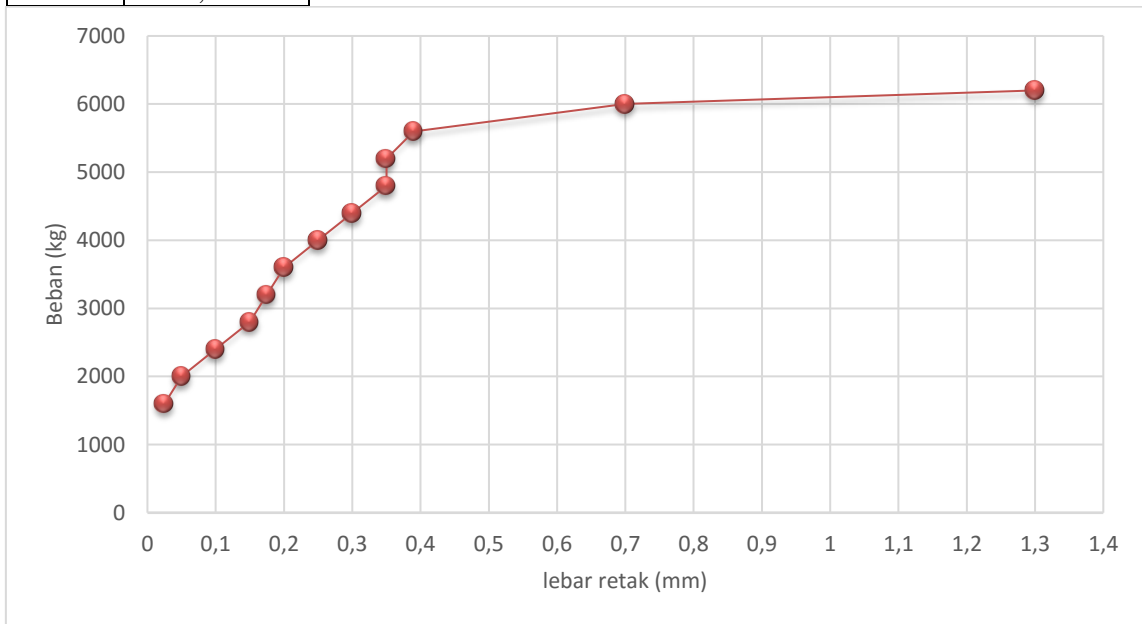
4.6.1.4 Lebar Retak RC-N4

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4.18
Pengamatan lebar retak RC-N4

| Beban (Kg) | Lebar Retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,025 |
| 2000 | 0,050 |
| 2400 | 0,100 |
| 2800 | 0,150 |
| 3200 | 0,175 |

| | |
|------|-------|
| 3600 | 0,200 |
| 4000 | 0,250 |
| 4400 | 0,300 |
| 4800 | 0,350 |
| 5200 | 0,350 |
| 5600 | 0,390 |
| 6000 | 0,700 |
| 6200 | 1,300 |



Gambar 4.9 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N4

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N4, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N4 yaitu 0,106. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N4 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,3 mm.

4.6.1.5 Lebar Retak RC-N5

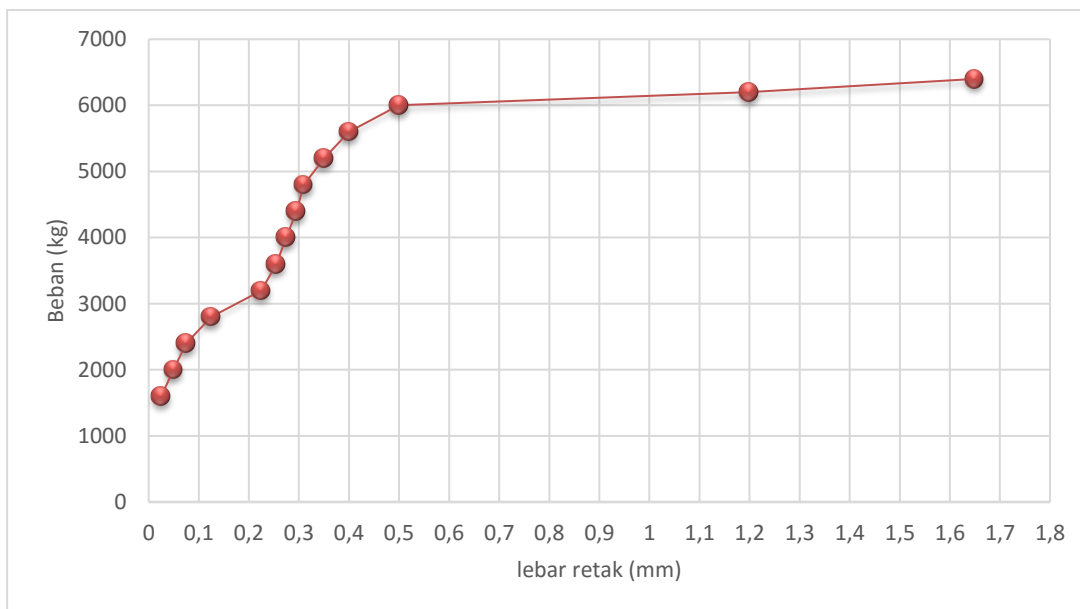
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19

Pengamatan lebar retak RC-N5

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,025 |

| | |
|------|-------|
| 2000 | 0,050 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,225 |
| 3600 | 0,255 |
| 4000 | 0,275 |
| 4400 | 0,295 |
| 4800 | 0,310 |
| 5200 | 0,350 |
| 5600 | 0,400 |
| 6000 | 0,500 |
| 6200 | 1,200 |
| 6400 | 1,650 |



Gambar 4.10 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N5

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N5, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N5 yaitu 0,125. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N5 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,65 mm.

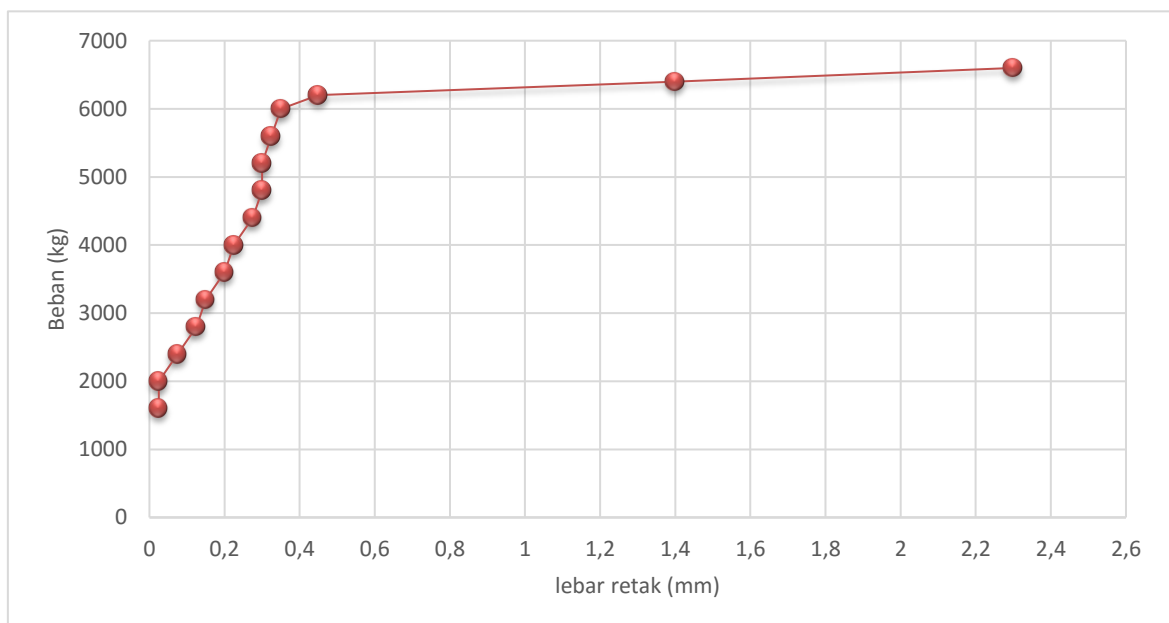
4.6.1.6 Lebar Retak RC-N6

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20

Pengamatan lebar retak RC-N6

| Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,025 |
| 2000 | 0,025 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,200 |
| 4000 | 0,225 |
| 4400 | 0,275 |
| 4800 | 0,300 |
| 5200 | 0,300 |
| 5600 | 0,325 |
| 6000 | 0,350 |
| 6200 | 0,450 |
| 6400 | 1,400 |
| 6600 | 2,300 |



Gambar 4.11 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N6

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N6, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N6 yaitu 0,163. Lebar retak yang terjadi

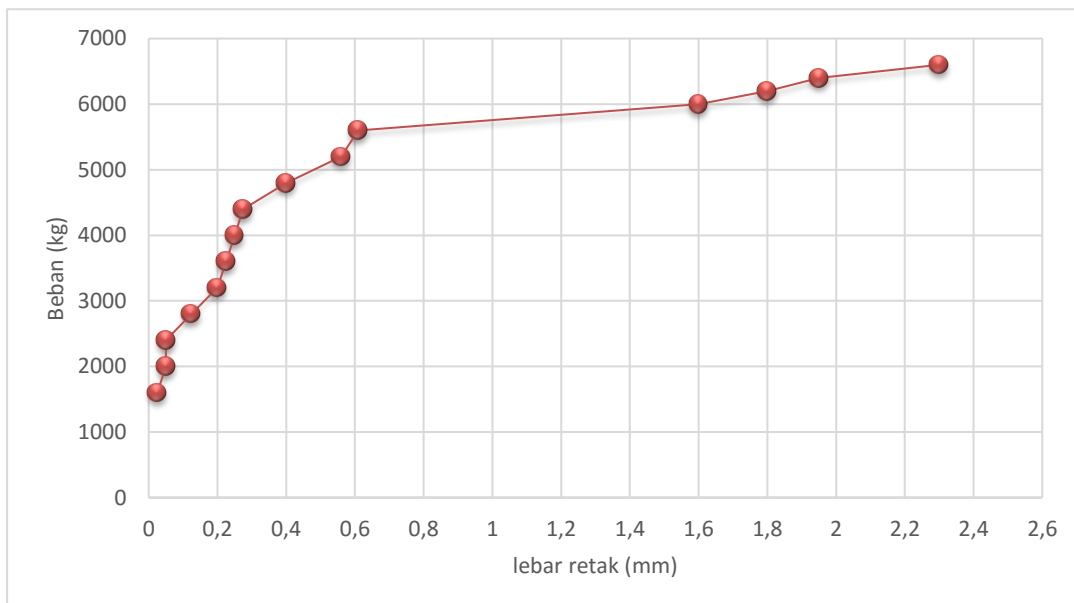
bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N6 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 2,3 mm.

4.6.1.7 Lebar Retak RC-N7

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4.21
Pengamatan lebar retak RC-N7

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,025 |
| 2000 | 0,050 |
| 2400 | 0,050 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,200 |
| 3600 | 0,225 |
| 4000 | 0,250 |
| 4400 | 0,275 |
| 4800 | 0,400 |
| 5200 | 0,560 |
| 5600 | 0,610 |
| 6000 | 1,600 |
| 6200 | 1,800 |
| 6400 | 1,950 |
| 6600 | 2,300 |



Gambar 4.12 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N7

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N7, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N7 yaitu 0,163. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N7 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 2,3 mm.

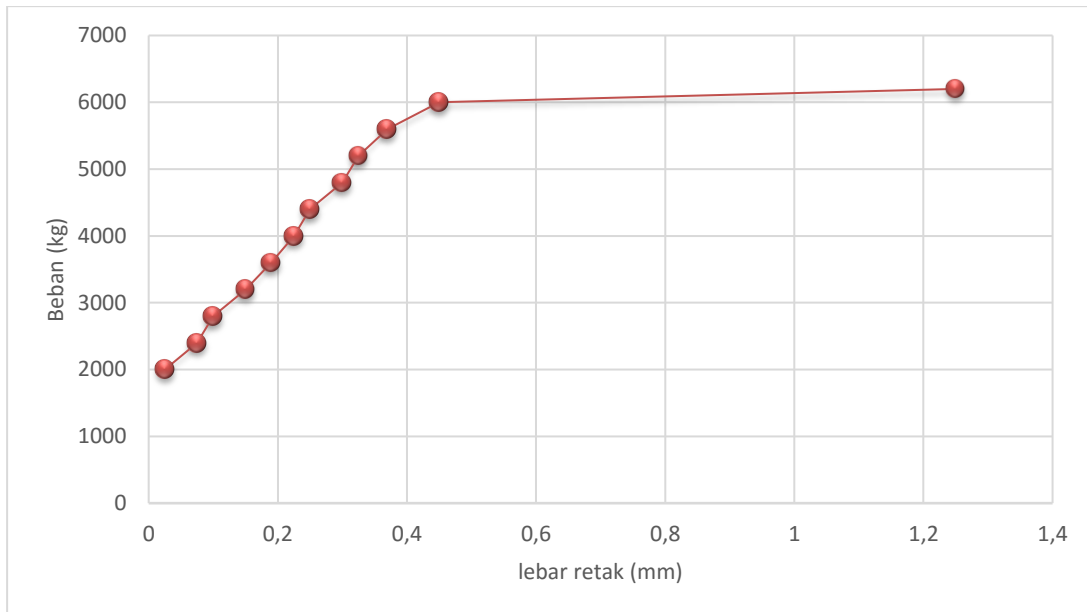
4.6.1.8 Lebar Retak RC-N8

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.22

Tabel 4.22

Pengamatan lebar retak RC-N8

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2000 | 0,025 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,190 |
| 4000 | 0,225 |
| 4400 | 0,250 |
| 4800 | 0,300 |
| 5200 | 0,325 |
| 5600 | 0,370 |
| 6000 | 0,450 |
| 6200 | 1,250 |



Gambar 4.13 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N8

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N8, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N8 yaitu 0,111. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N8 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,25 mm.

4.6.1.9 Lebar Retak RC-N9

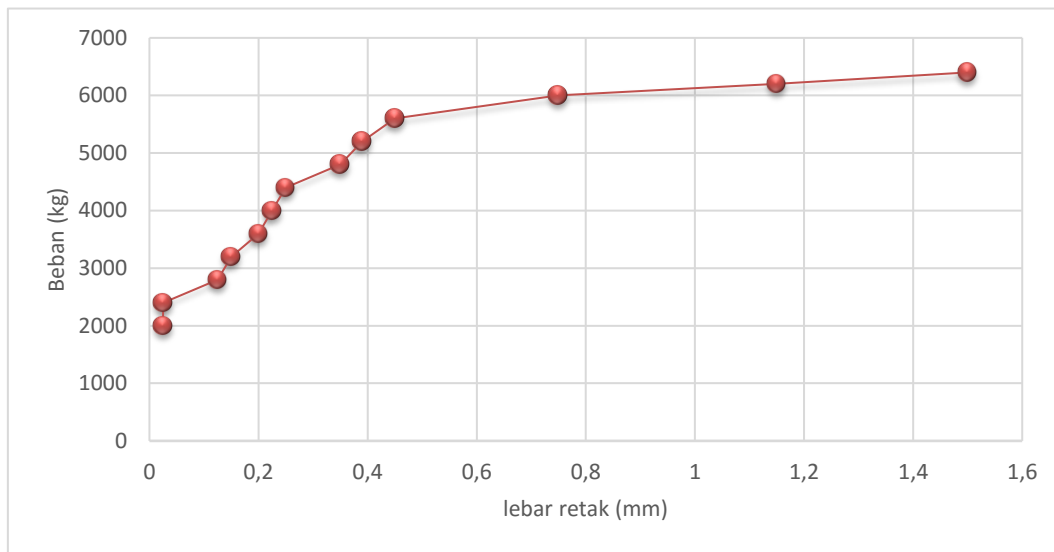
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.23

Tabel 4.23

Pengamatan lebar retak RC-N9

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2000 | 0,025 |
| 2400 | 0,025 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,200 |
| 4000 | 0,225 |
| 4400 | 0,250 |
| 4800 | 0,350 |
| 5200 | 0,390 |
| 5600 | 0,450 |

| | |
|------|-------|
| 6000 | 0,750 |
| 6200 | 1,150 |
| 6400 | 1,500 |



Gambar 4.14 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N9

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N9, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N9 yaitu 0,128. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N9 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,5 mm.

4.6.1.10 Lebar Retak RC-N10

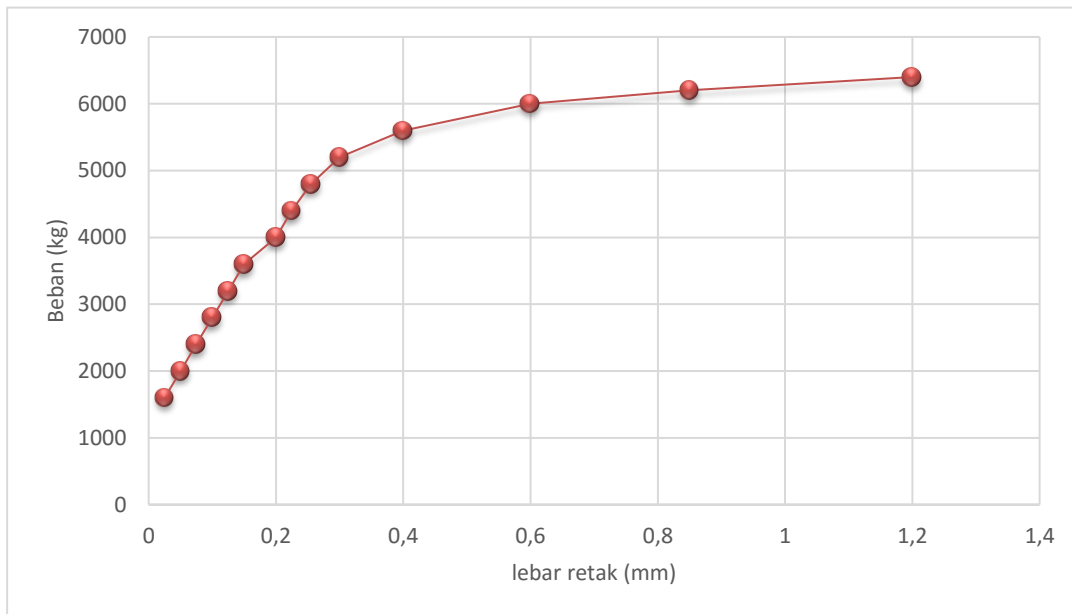
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.24

Tabel 4.24

Pengamatan lebar retak RC-N10

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 1600 | 0,025 |
| 2000 | 0,050 |
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,150 |
| 4000 | 0,200 |

| | |
|------|-------|
| 4400 | 0,225 |
| 4800 | 0,255 |
| 5200 | 0,300 |
| 5600 | 0,400 |
| 6000 | 0,600 |
| 6200 | 0,850 |
| 6400 | 1,200 |

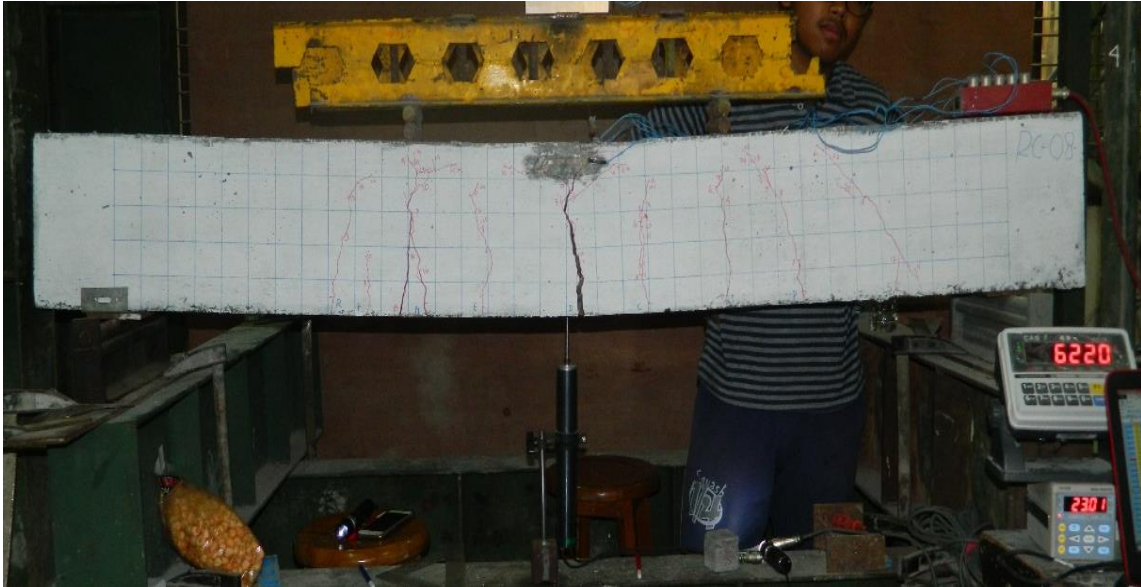


Gambar 4.15 Hubungan beban dengan lebar retak RC-N10

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang normal RC – N10, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 1600 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC-N10 yaitu 0,09. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – N10 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,2 mm.

4.6.2 Pengamatan Lebar Retak Balok Beton Bertulang *Onyx* RC-O1 sampai dengan RC-O10

Berikut merupakan salah satu gambar pengamatan lebar retak pada beton *onyx* RC-O8 yang telah dilakukan.



Gambar 4.16 Pengamatan lebar retak RC-08

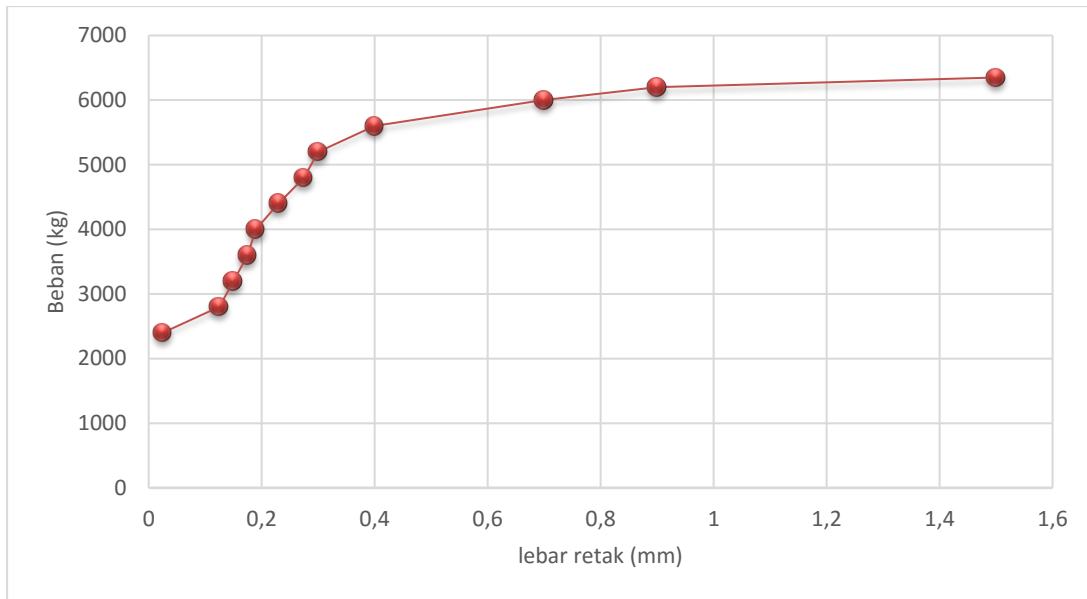
4.6.2.1 Lebar Retak RC-01

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.25

Tabel 4.25

Pengamatan lebar retak RC-01

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|---------------|---------------------|
| 2400 | 0,025 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,175 |
| 4000 | 0,190 |
| 4400 | 0,230 |
| 4800 | 0,275 |
| 5200 | 0,300 |
| 5600 | 0,400 |
| 6000 | 0,700 |
| 6200 | 0,900 |
| 6350 | 1,500 |



Gambar 4.17 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O1

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O1, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O1 yaitu 0,134. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O1 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,5 mm.

4.6.2.2 Lebar Retak RC-O2

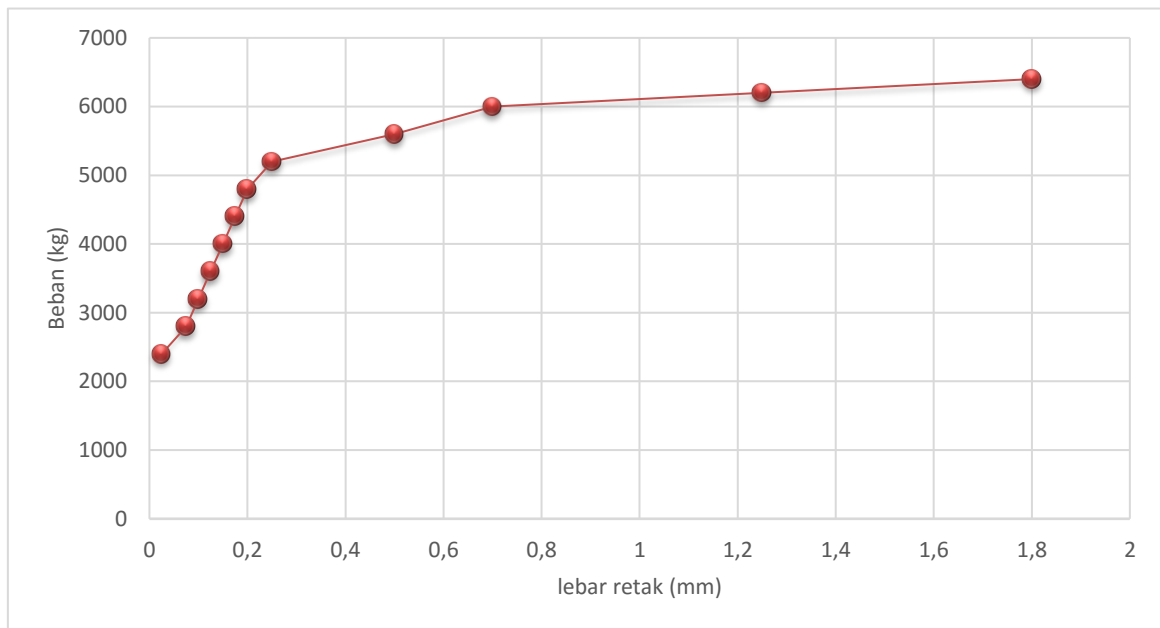
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.26

Tabel 4.26

Pengamatan lebar retak RC-O2

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2400 | 0,025 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,175 |
| 4000 | 0,190 |
| 4400 | 0,230 |
| 4800 | 0,275 |
| 5200 | 0,300 |
| 5600 | 0,400 |

| | |
|------|-------|
| 6000 | 0,700 |
| 6200 | 0,900 |
| 6350 | 1,500 |



Gambar 4.18 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O2

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O2, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktil daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O2 yaitu 0,161. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O2 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,8 mm.

4.6.2.3 Lebar Retak RC-O3

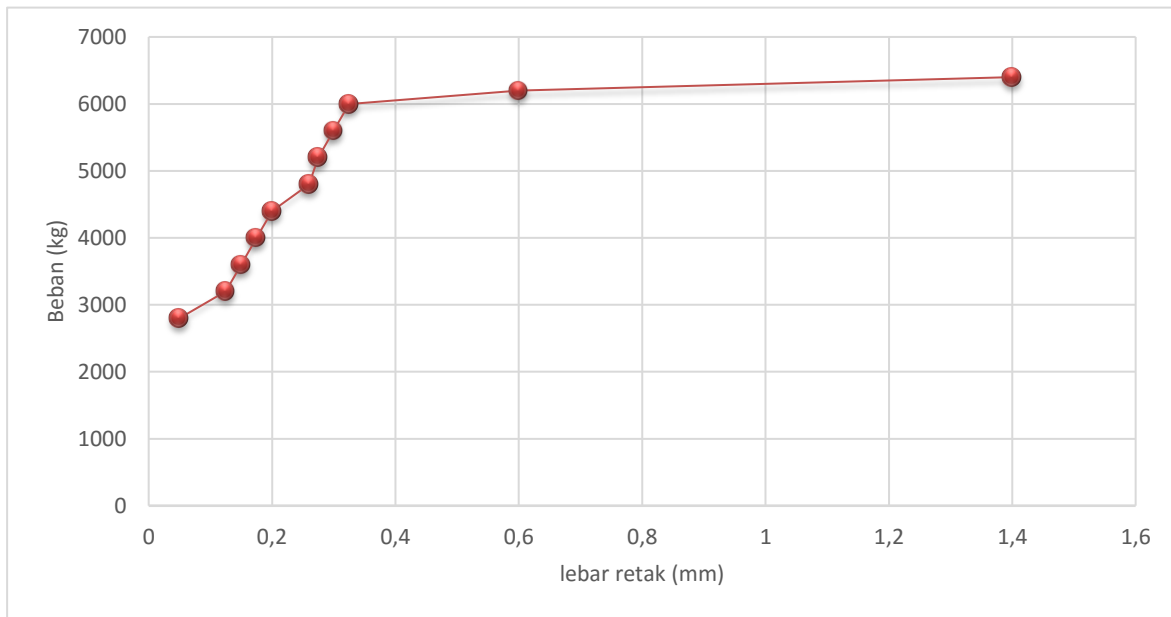
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.27

Tabel 4.27

Pengamatan lebar retak RC-O3

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2800 | 0,050 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,150 |
| 4000 | 0,175 |

| | |
|------|-------|
| 4400 | 0,200 |
| 4800 | 0,260 |
| 5200 | 0,275 |
| 5600 | 0,300 |
| 6000 | 0,325 |
| 6200 | 0,600 |
| 6400 | 1,400 |



Gambar 4.19 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O3

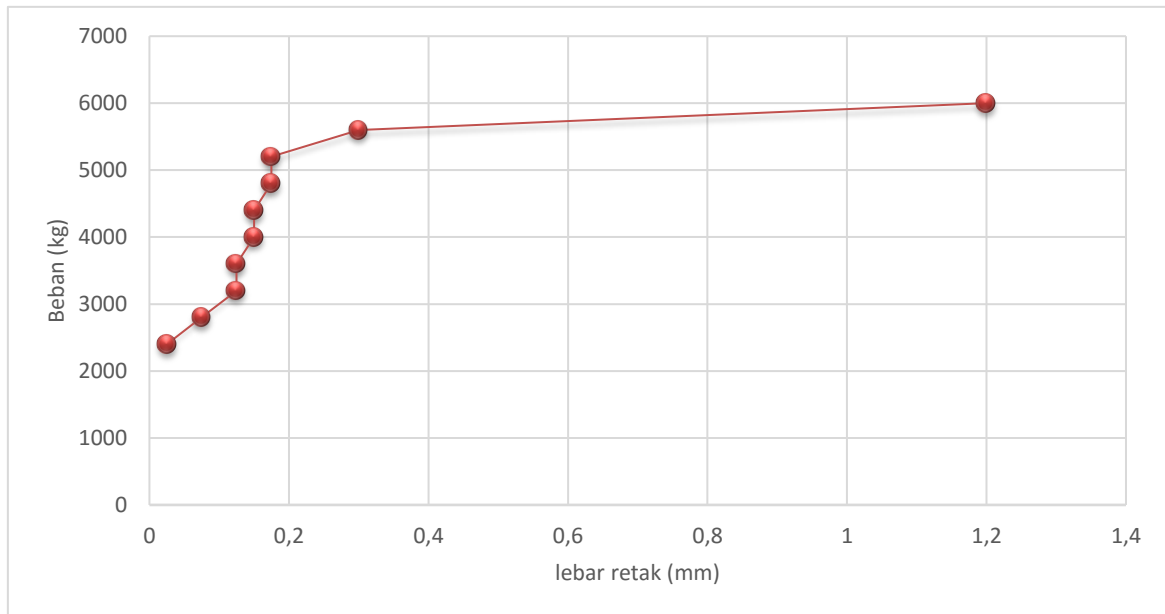
Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O3, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2800 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O3 yaitu 0,135. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O3 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,4 mm.

4.6.2.4 Lebar Retak RC-O4

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.28

Tabel 4.28
Pengamatan lebar retak RC-O4

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2400 | 0,025 |
| 2800 | 0,075 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,125 |
| 4000 | 0,150 |
| 4400 | 0,150 |
| 4800 | 0,175 |
| 5200 | 0,175 |
| 5600 | 0,300 |
| 6000 | 1,200 |



Gambar 4.20 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O4

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O4, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktil daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O4 yaitu 0,131. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O4 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,2 mm.

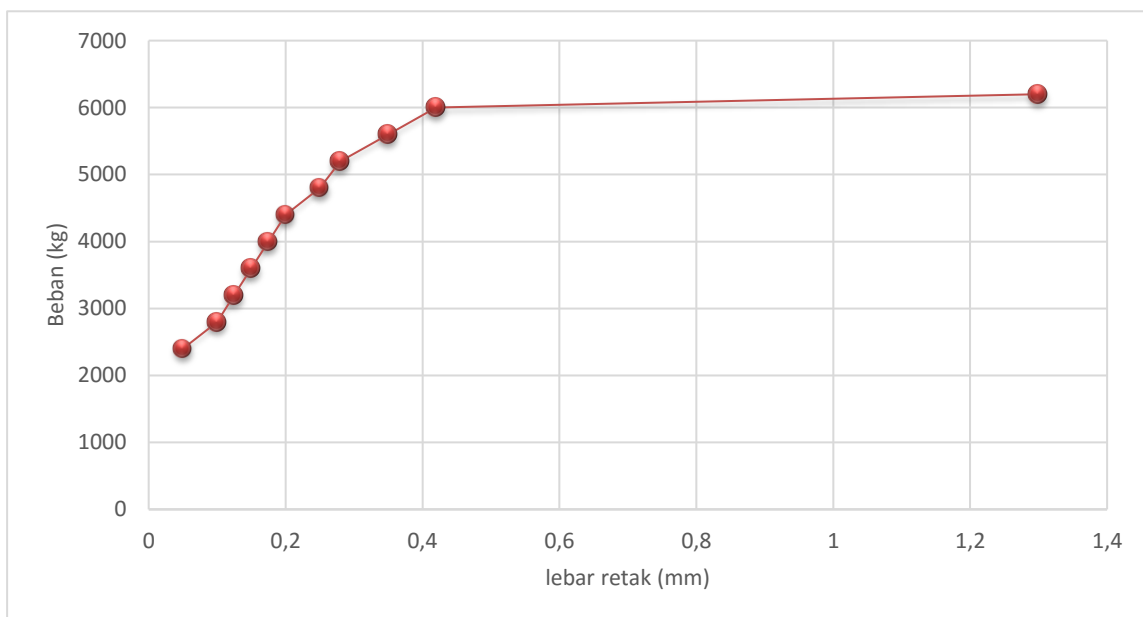
4.6.2.5 Lebar Retak RC-O5

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.29

Tabel 4.29

Pengamatan lebar retak RC-O5

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2400 | 0,050 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,150 |
| 4000 | 0,175 |
| 4400 | 0,200 |
| 4800 | 0,250 |
| 5200 | 0,280 |
| 5600 | 0,350 |
| 6000 | 0,420 |
| 6200 | 1,300 |



Gambar 4.21 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O5

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O5, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O5 yaitu 0,125. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit

demikian sedikit pada penelitian beton RC – O5 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,3 mm.

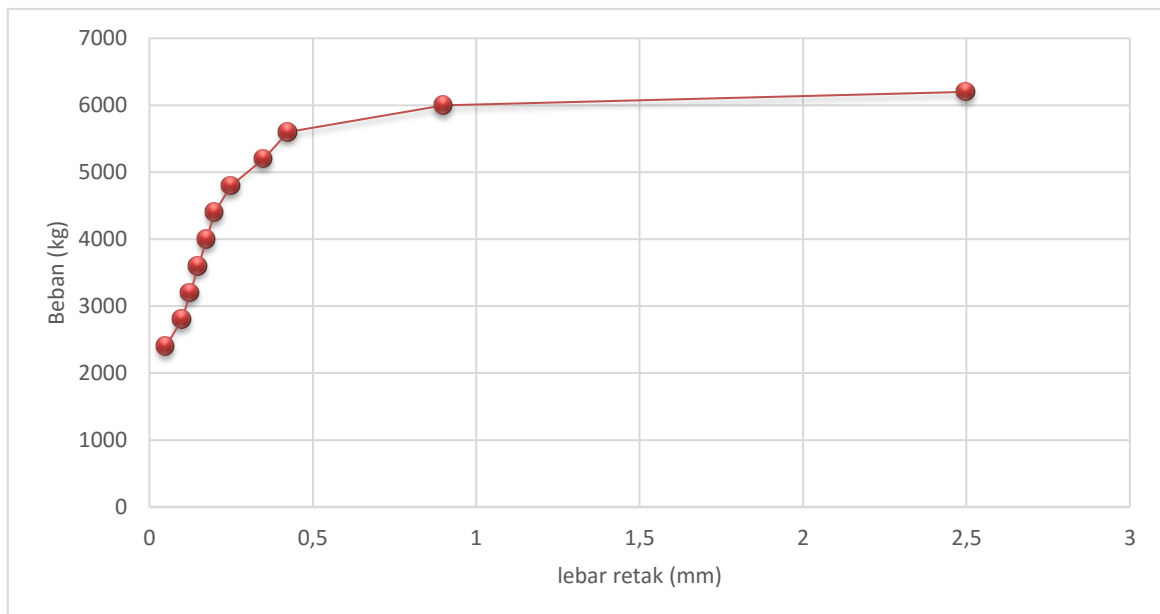
4.6.2.6 Lebar Retak RC-O6

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.30

Tabel 4.30

Pengamatan lebar retak RC-O6

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2400 | 0,050 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,150 |
| 4000 | 0,175 |
| 4400 | 0,200 |
| 4800 | 0,250 |
| 5200 | 0,350 |
| 5600 | 0,425 |
| 6000 | 0,900 |
| 6200 | 2,500 |



Gambar 4.22 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O6

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O6, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,05 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan

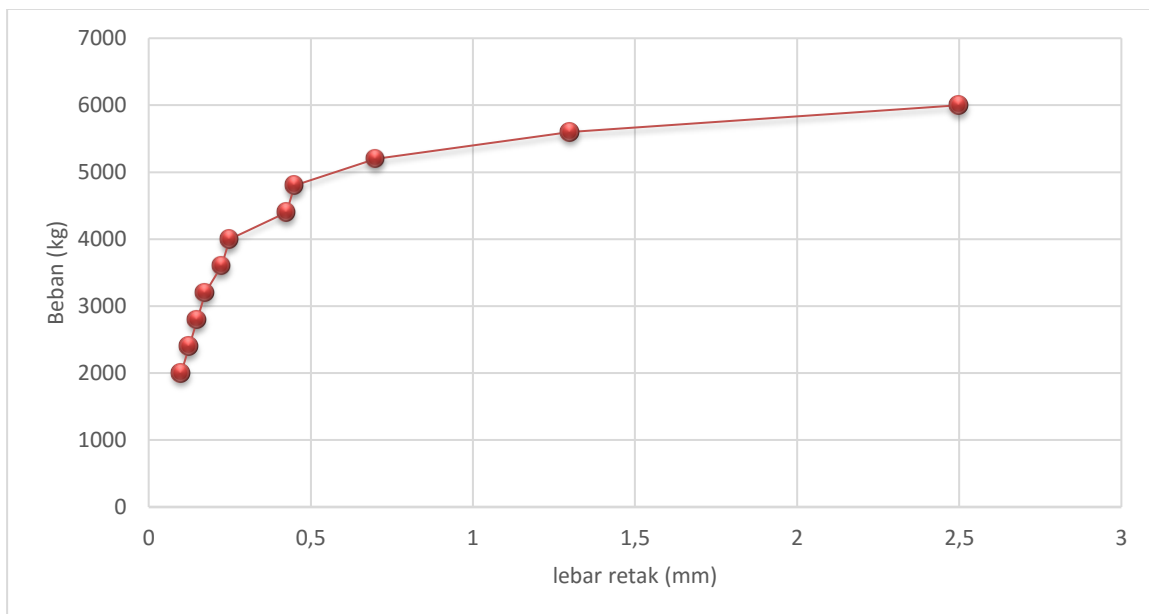
beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O6 yaitu 0,245. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O6 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 2,5 mm.

4.6.2.7 Lebar Retak RC-O7

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.31

Tabel 4.31
Pengamatan lebar retak RC-O7

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2000 | 0,100 |
| 2400 | 0,125 |
| 2800 | 0,150 |
| 3200 | 0,175 |
| 3600 | 0,225 |
| 4000 | 0,250 |
| 4400 | 0,425 |
| 4800 | 0,450 |
| 5200 | 0,700 |
| 5600 | 1,300 |
| 6000 | 2,500 |



Gambar 4.23 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O7

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O7, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,1 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktil daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O7 yaitu 0,24. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O7 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 2,5 mm.

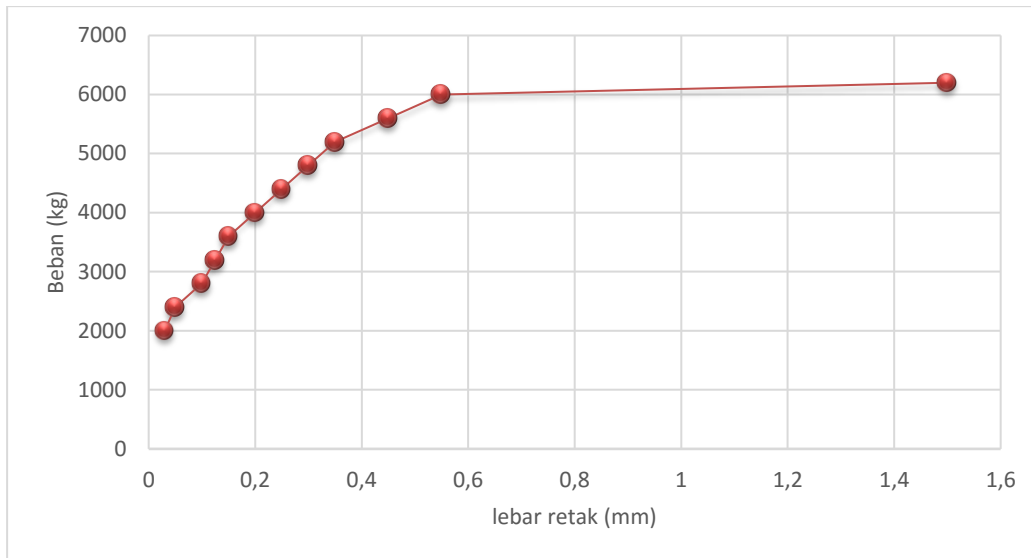
4.6.2.8 Lebar Retak RC-O8

Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.32

Tabel 4.32

Pengamatan lebar retak RC-O8

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|---------------|---------------------|
| 2000 | 0,030 |
| 2400 | 0,050 |
| 2800 | 0,100 |
| 3200 | 0,125 |
| 3600 | 0,150 |
| 4000 | 0,200 |
| 4400 | 0,250 |
| 4800 | 0,300 |
| 5200 | 0,350 |
| 5600 | 0,450 |
| 6000 | 0,550 |
| 6200 | 1,500 |



Gambar 4.24 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O8

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O8, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,03 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O8 yaitu 0,134. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O8 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (ultimate) yaitu 1,5 mm.

4.6.2.9 Lebar Retak RC-O9

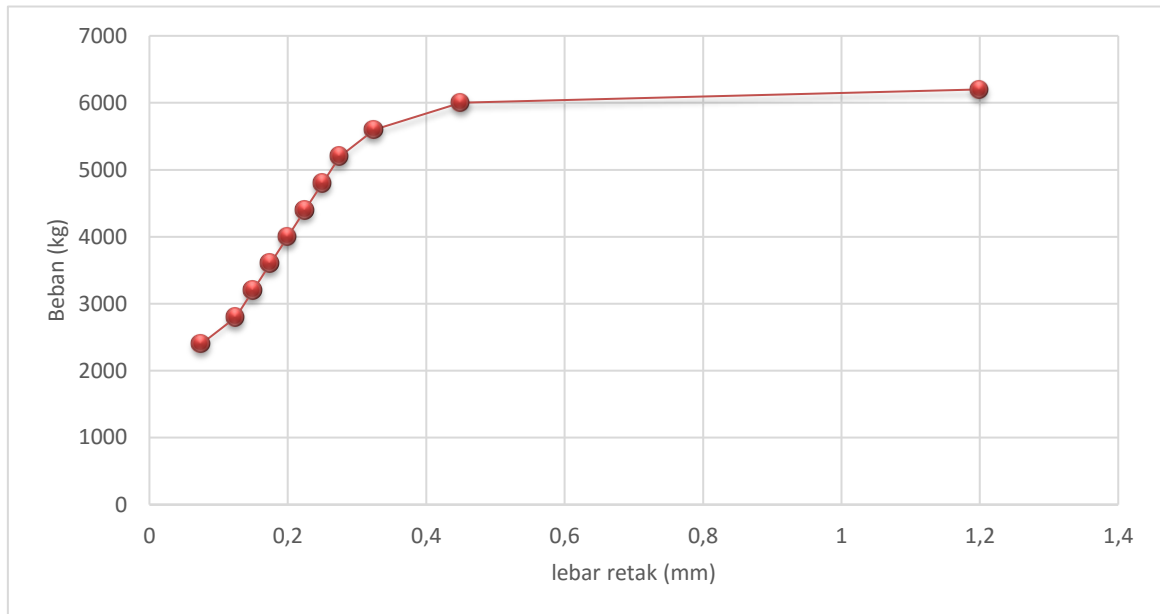
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban ultimate dapat dilihat pada Tabel 4.33

Tabel 4.33

Pengamatan lebar retak RC-O9

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2400 | 0,075 |
| 2800 | 0,125 |
| 3200 | 0,150 |
| 3600 | 0,175 |
| 4000 | 0,200 |
| 4400 | 0,225 |
| 4800 | 0,250 |
| 5200 | 0,275 |
| 5600 | 0,325 |

| | |
|------|-------|
| 6000 | 0,450 |
| 6200 | 1,200 |



Gambar 4.25 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O9

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O9, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2400 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,075 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O9 yaitu 0,113. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O9 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (*ultimate*) yaitu 1,2 mm.

4.6.2.10 Lebar Retak RC-O10

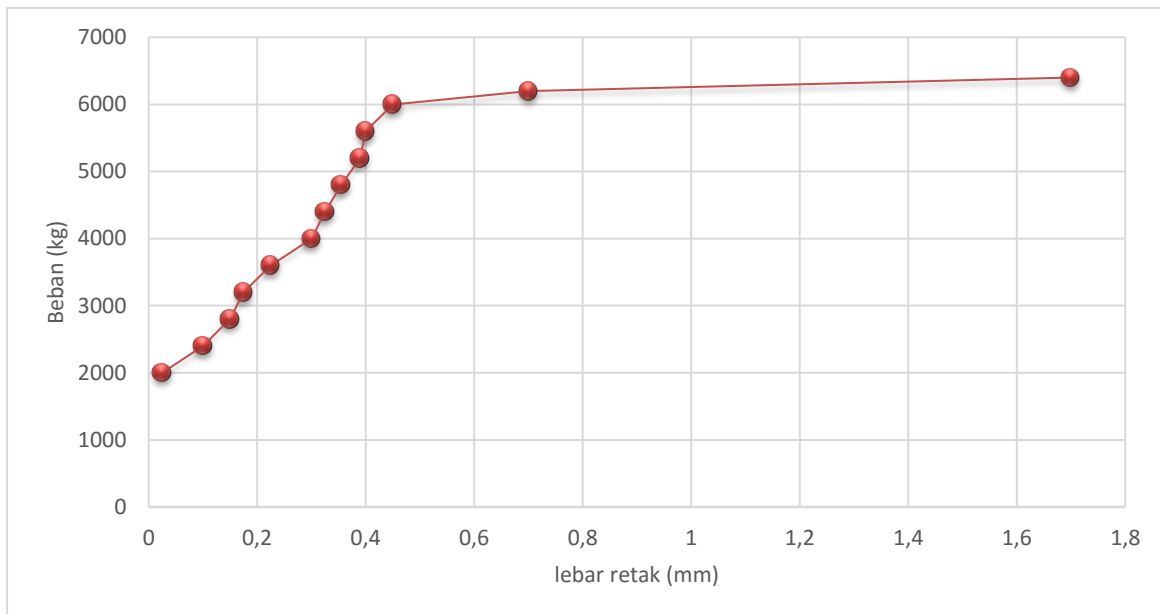
Hasil pengamatan lebar retak sampai pada beban *ultimate* dapat dilihat pada Tabel 4.34

Tabel 4.34

Pengamatan lebar retak RC-O10

| Beban (kg) | lebar retak (mm) |
|------------|------------------|
| 2000 | 0,025 |
| 2400 | 0,100 |
| 2800 | 0,150 |
| 3200 | 0,175 |
| 3600 | 0,225 |

| | |
|------|-------|
| 4000 | 0,300 |
| 4400 | 0,325 |
| 4800 | 0,355 |
| 5200 | 0,390 |
| 5600 | 0,400 |
| 6000 | 0,450 |
| 6200 | 0,700 |
| 6400 | 1,700 |



Gambar 4.26 Hubungan beban dengan lebar retak RC-O10

Dapat dilihat dari hasil balok beton bertulang *onyx* RC – O10, retak mulai terjadi pada awal – awal pembebanan yaitu pada saat beban mencapai 2000 kg berada pada bawah pusat beban hingga tengah bentang, dimana terjadi momen maksimum pada balok (interval beban terpusat). Retak awal terjadi saat lebar retak 0,025 mm. . Dimana beton *onyx* membutuhkan beban lebih besar untuk terjadi retak pertama, hal tersebut menunjukkan bahwa beton *onyx* lebih daktail daripada beton normal. Rata-rata peningkatan perubahan lebar retak setiap pembebanan pada balok RC – O10 1,00. Lebar retak yang terjadi bertambah sedikit demi sedikit pada penelitian beton RC – O10 beban diberikan secara berangsur sebesar 100 kg, lebar retak yang terjadi ditinjau dari penambahan beban secara berangsur sebesar 400 kg lebar retak yang terjadi pada beban maksimum (*ultimate*) yaitu 1,7 mm.

4.6.3 Pengamatan Lebar Retak Balok Beton Bertulang Normal dan *Onyx* pada saat Beban Maksimum

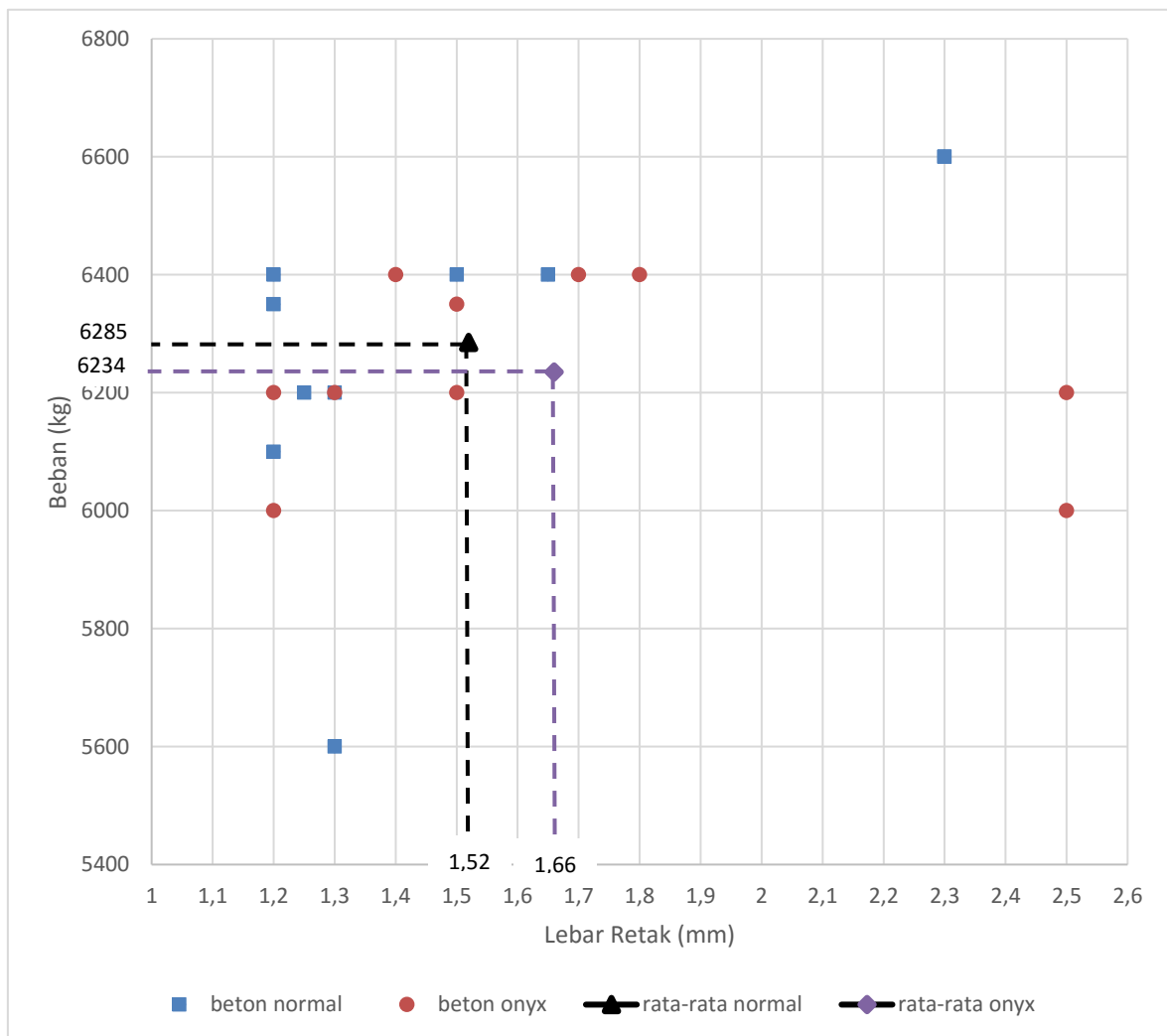
Setelah mendapatkan hasil lebar retak setiap balok, dapat dilihat perbedaan lebar retak pada saat beban maksimum antara balok beton bertulang normal dengan balok beton bertulang

onyx. Dapat dilihat pada Tabel 4.35 dan Gambar 4.27 untuk hasil pengamatan antara lebar retak dengan beban maksimum setiap balok.

Tabel 4.35
Lebar Retak pada saat Beban Maksimum

| Balok | Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|-----------|------------|------------------|
| RC N1 | 5600 | 1,300 |
| RC N2 | 6100 | 1,200 |
| RC N3 | 6350 | 1,200 |
| RC N4 | 6200 | 1,300 |
| RC N5 | 6400 | 1,650 |
| RC N6 | 6600 | 2,300 |
| RC N7 | 6600 | 2,300 |
| RC N8 | 6200 | 1,250 |
| RC N9 | 6400 | 1,500 |
| RC N10 | 6400 | 1,200 |
| Rata-rata | 6285 | 1,520 |

| Balok | Beban (kg) | Lebar Retak (mm) |
|-----------|------------|------------------|
| RC O1 | 6350 | 1,500 |
| RC O2 | 6400 | 1,800 |
| RC O3 | 6400 | 1,400 |
| RC O4 | 6000 | 1,200 |
| RC O5 | 6200 | 1,300 |
| RC O6 | 6200 | 2,500 |
| RC O7 | 6000 | 2,500 |
| RC O8 | 6200 | 1,500 |
| RC O9 | 6200 | 1,200 |
| RC O10 | 6400 | 1,700 |
| Rata-rata | 6235 | 1,660 |



Gambar 4.27 Grafik perbedaan lebar retak saat beban maksimum

Pada hasil pengamatan pengukuran lebar retak didapatkan perilaku retak balok beton bertulang normal menunjukkan beban maksimum pada sepuluh balok yang terbesar yaitu 6600 kg dengan lebar retak 2,3 mm dan beban maksimum pada sepuluh balok yang terkecil yaitu 5600 kg dengan lebar retak 1,3 mm. Sedangkan pada balok beton bertulang *onyx* menunjukkan beban maksimum pada sepuluh balok yang terbesar yaitu 6400 kg dengan lebar retak 2,5 mm dan beban maksimum pada sepuluh balok yang terkecil yaitu 6000 kg dengan lebar retak 1,2 mm. Rata-rata beban maksimum balok beton bertulang normal adalah 6285 kg sedangkan balok beton bertulang *onyx* 6234 kg. Rata-rata lebar retak yang terjadi saat beban maksimum pada balok beton bertulang normal adalah 1,52 mm sedangkan pada balok beton bertulang *onyx* adalah 1,66 mm.

Pada balok normal rata-rata beban maksimum dibagi rata-rata lebar retak didapatkan 0,00024 mm/kg, dimana untuk menghasilkan lebar retak 0.00024 mm dibutuhkan 1 kg satuan gaya. Dan rata-rata lebar retak dibagi rata-rata beban maksimum didapatkan 4134,9 kg/mm, dimana untuk menghasilkan beban 4134,9 kg dibutuhkan 1 mm satuan panjang. Sedangkan balok *onyx* rata-rata beban maksimum dibagi rata-rata lebar retak didapatkan 0,00027 mm/kg, dimana untuk menghasilkan lebar retak 0.00027 mm dibutuhkan 1 kg satuan gaya. Dan rata-rata lebar retak dibagi rata-rata beban maksimum didapatkan 3756,02 kg/mm, dimana untuk menghasilkan beban 3756,02 kg dibutuhkan 1 mm satuan panjang.

4.6.4 Analisis Teoritis Lebar Retak antara Balok Beton Bertulang Normal dan *Onyx*

Dari data pengujian yang sudah diperoleh dapat menghitung lebar retak balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang *onyx* secara teoritis. Selanjutnya didapatkan beban yang diijinkan dari lebar retak yang dihitung.

Tabel 4.36

Hasil Pengamatan dan Teoritis Lebar Retak Balok Normal

| Balok | Pengamatan | | | Teoritis | | |
|--------|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| | Beban Maksimum (kg) | Momen Maksimum (kgcm) | Lebar Retak (mm) | Beban ijin (kg) | Momen ijin (kgcm) | Lebar Retak ijin (mm) |
| RC N1 | 5600 | 154000 | 1,3 | 4175 | 114812,5 | 0,1676 |
| RC N2 | 6100 | 167750 | 1,2 | 2950 | 81125 | 0,1675 |
| RC N3 | 6350 | 174625 | 1,2 | 3050 | 83875 | 0,1678 |
| RC N4 | 6200 | 170500 | 1,3 | 3000 | 82500 | 0,1675 |
| RC N5 | 6400 | 176000 | 1,65 | 2975 | 81812,5 | 0,1674 |
| RC N6 | 6600 | 181500 | 2,3 | 3175 | 87312,5 | 0,16745 |
| RC N7 | 6600 | 181500 | 2,3 | 2975 | 81812,5 | 0,16742 |
| RC N8 | 6200 | 170500 | 1,25 | 3375 | 92812,5 | 0,16742 |
| RC N9 | 6400 | 176000 | 1,5 | 3350 | 92125 | 0,16742 |
| RC N10 | 6400 | 176000 | 1,2 | 3850 | 105875 | 0,16741 |

Tabel 4.37
Hasil Pengamatan dan Teoritis Lebar Retak Balok *Onyx*

| Balok | Pengamatan | | | Teoritis | | |
|--------|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| | Beban Maksimum (kg) | Momen Maksimum (kgcm) | Lebar Retak (mm) | Beban ijin (kg) | Momen ijin (kgcm) | Lebar Retak ijin (mm) |
| RC O1 | 6350 | 174625 | 1,5 | 3400 | 93500 | 0,16747 |
| RC O2 | 6400 | 176000 | 1,8 | 4250 | 116875 | 0,16755 |
| RC O3 | 6400 | 176000 | 1,4 | 3950 | 108625 | 0,16749 |
| RC O4 | 6000 | 165000 | 1,2 | 4675 | 128562,5 | 0,16747 |
| RC O5 | 6200 | 170500 | 1,3 | 3700 | 101750 | 0,16749 |
| RC O6 | 6200 | 170500 | 2,5 | 3775 | 103812,5 | 0,1675 |
| RC O7 | 6000 | 165000 | 2,5 | 2850 | 78375 | 0,16747 |
| RC O8 | 6200 | 170500 | 1,5 | 3750 | 103125 | 0,16754 |
| RC O9 | 6200 | 170500 | 1,2 | 3425 | 94187,5 | 0,16751 |
| RC O10 | 6400 | 176000 | 1,7 | 3125 | 85937,5 | 0,16747 |

Dari Tabel 4.35 dan Tabel 4.37 didapatkan perbedaan antara pengamatan dan teoritis balok beton bertulang normal dengan balok beton bertulang *onyx* yaitu dengan membandingkan beban yang diijinkan dengan saat beban maksimum dan lebar retak yang diijinkan dengan lebar retak pada saat beban maksimum.

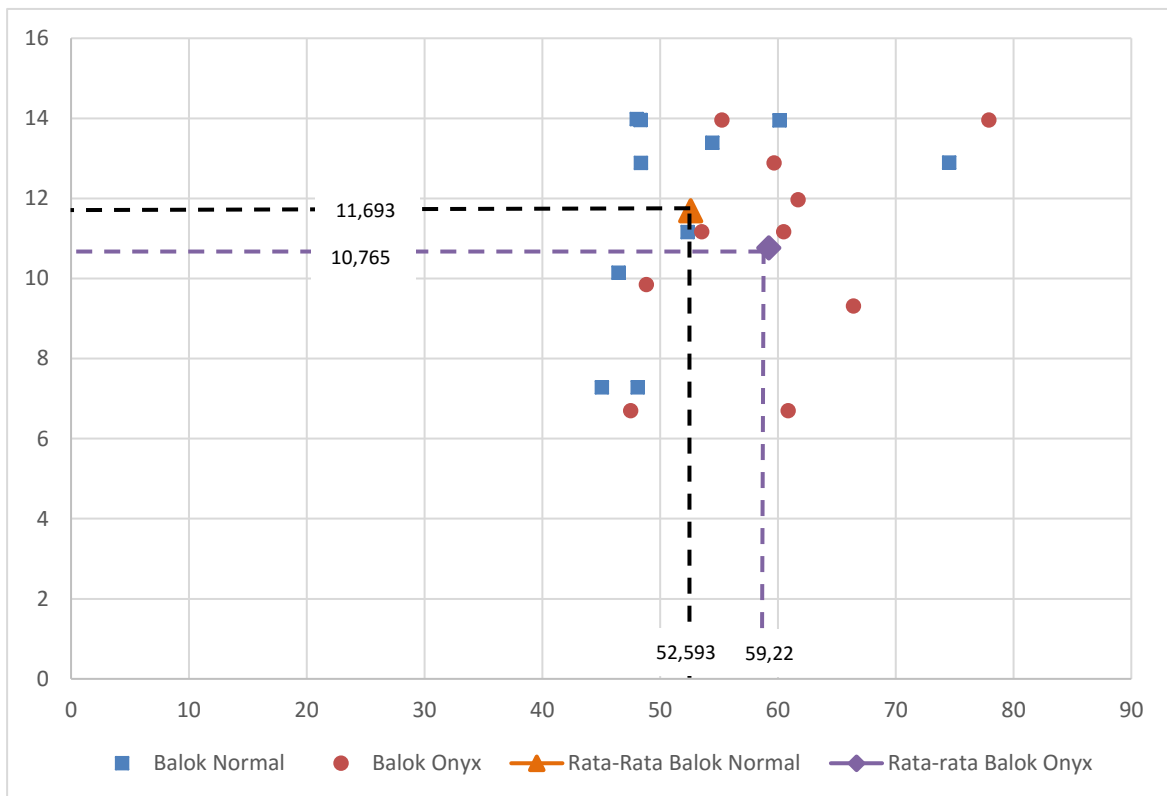
Tabel 4.38
Perbedaan Pengamatan dan Teoritis Lebar Retak Balok Normal

| Balok | Pijin/Pmax % | M/Mmax % | wijin/w % |
|-----------|--------------|----------|-----------|
| RC N1 | 74,554 | 74,554 | 12,892 |
| RC N2 | 48,361 | 48,361 | 13,958 |
| RC N3 | 48,031 | 48,031 | 13,983 |
| RC N4 | 48,387 | 48,387 | 12,885 |
| RC N5 | 46,484 | 46,484 | 10,145 |
| RC N6 | 48,106 | 48,106 | 7,280 |
| RC N7 | 45,076 | 45,076 | 7,279 |
| RC N8 | 54,435 | 54,435 | 13,394 |
| RC N9 | 52,344 | 52,344 | 11,161 |
| RC N10 | 60,156 | 60,156 | 13,951 |
| Rata-rata | 52,593 | | 11,693 |

Tabel 4.39
Perbedaan Pengamatan dan Teoritis Lebar Retak Balok *Onyx*

| Balok | Pijin/Pmax % | M/Mmax % | wijin/w % |
|-------|--------------|----------|-----------|
| RC O1 | 53,543 | 53,543 | 11,165 |
| RC O2 | 66,406 | 66,406 | 9,308 |
| RC O3 | 61,719 | 61,719 | 11,964 |
| RC O4 | 77,917 | 77,917 | 13,956 |

| | | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| RC O5 | 59,677 | 59,677 | 12,884 |
| RC O6 | 60,887 | 60,887 | 6,700 |
| RC O7 | 47,500 | 47,500 | 6,699 |
| RC O8 | 60,484 | 60,484 | 11,169 |
| RC O9 | 55,242 | 55,242 | 13,959 |
| RC O10 | 48,828 | 48,828 | 9,851 |
| Rata-rata | 59,220 | | 10,765 |



Gambar 4.28 Grafik perbedaan pengamatan dan teoritis lebar retak balok normal dan balok onyx

Dari Gambar 4.28 hasil perhitungan perbandingan teoritis dengan pengamatan mendapatkan hasil rata-rata beban yang diijinkan dibagi saat beban maksimum pada balok normal sebesar 52,593 % kemudian untuk balok onyx lebih besar yaitu 59,22 %. Sedangkan hasil rata-rata lebar retak yang diijinkan dibagi lebar retak saat beban maksimum pada balok normal sebesar 11,693 % kemudian untuk balok onyx lebih kecil yaitu 10,765 %.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang *onyx* sebagai berikut:

1. Kuat tekan rata-rata beton normal lebih besar dari kuat tekan rata-rata beton *onyx* yaitu sebesar 7,839 %.
2. Lebar retak balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang *onyx* memiliki perbedaan dimana retak pertama balok beton bertulang normal 1200 kg - 2200 kg dan balok beton bertulang *onyx* 1600 kg – 2600 kg. Retak pertama balok beton bertulang normal lebih cepat terjadi dibandingkan dengan balok beton bertulang *onyx*, hal tersebut disebabkan balok beton bertulang *onyx* lebih plastis dari balok beton bertulang normal, sehingga untuk mencapai retak pertama dibutuhkan gaya tarik yang lebih besar.
3. Hasil pengamatan pengukuran lebar retak rata-rata beban maksimum balok beton bertulang normal sebesar 6285 kg dengan lebar retak 1,52 mm dan rata-rata beban maksimum balok beton bertulang *onyx* sebesar 6234 kg dengan lebar retak 1,66 mm.
4. Hasil perhitungan perbandingan teoritis dengan pengamatan mendapatkan hasil rata-rata beban yang diijinkan dibagi saat beban maksimum pada balok beton bertulang normal sebesar 52,593 % kemudian untuk balok beton bertulang *onyx* lebih besar yaitu 59,22 %. Sedangkan hasil rata-rata lebar retak yang diijinkan dibagi lebar retak saat beban maksimum pada balok beton bertulang normal sebesar 11,693 % kemudian untuk balok beton bertulang *onyx* lebih kecil yaitu 10,765 %.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian pengaruh limbah batu *onyx* sebagai pengganti agregat kasar beton terhadap lebar retak balok beton bertulang, saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian lebih lanjut yakni:

1. Dalam penelitian selanjutnya dapat ditambahkan perhitungan teoritis lebar retak saat beban maksimum (*ultimate*).
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 lebar retak balok beton bertulang rangkap *onyx*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, F., Soehardjono, A.S. and Zacoeb, A., 2014. *Perilaku Lendutan Dan Retak Pada Balok Beton Bertulang Dengan Tambahan Serat Baja*. Inovtek Polbeng, 4(1), pp.106-110.
- Annisa, A.N. and Setyowati, E.W., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Belah Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp.pp-142.
- Arel, Hasan Sahan. 2016. *Recyclability of waste marble in concrete prduction*. Faculty of architecture, Izmir Unversity, Turkey: Journal El Sevier
- ASTM C.33 – 03, 2002, *Standard Spesification for Concrete Aggregates*, Annual Books of ASTM Satndards, USA
- Chun-Qing, L., Melchers, R.E. and Jian-Jun, Z., 2006. *Analytical model for corrosion-induced crack width in reinforced concrete structures*. ACI Structural Journal, 103(4)
- 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.
- Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2011. *Use of waste marble aggregates in concrete*. Constr. Build. Mater.
- Nasional, B.S., 2000. *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN, Jakarta.
- Nasional, B.S., 2002. *SNI 03-2847-2002 Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- 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
- Nugraha, Paul dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Marble Institute of America. 2016. *Marble and Onyx*. Ohio. An except from the dimension stone design manual version VIII.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi

- Park, R. And Paulay, T. 1975, *Reinforced Concrete Structures*, Jhon Wiley and Sons, Inc., New York
- Prasetya, R., Wahyuni, E. and Wisnumurti, W., 2018. *Eksperimen Dan Analisis Lebar Retak Pada Balok Beton Bertulang Pasca Paparan Suhu Tinggi*. *Rekayasa Sipil*, 11(2), pp.84-90.
- 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.
- Segui, William T., 2007. *Steel Design*. University of Memphis : Penerbit Chris Carson
- Setyowati,EW, Rahmawati, dan Anggraini. 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton* : *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*.
- SK. SNI. T-15 – 1990 – 2003, *Tata Cara Rancangan Campuran Beton Normal*. DPU. Jakarta.
- Soelarso, S. and Baehaki, B., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas*. *Jurnal Fondasi*, 5(2).
- Subakti, A, 1995, *Teknologi Beton dalam Praktek*, Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi, Surabaya.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil*. Malang: Penerbit Bargie Media.
- Susilowati, D., Saputro, I.N. and Nurhidayati, A., 2013. *Pengaruh Penggunaan Terak Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Dan Berat Jenis Beton Normal Dengan Metode Mix Design*. *Pendidikan Teknik Bangunan*, 2(2).
- Taufiq Raya,B, 2016, *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton* : *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*.
- Umum, D.P., SK SNI T-15-1990-03. 2003. *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*.
- Wibowo, Ari dan Setyowati, EW. 2003. *Teknologi Beton*. Malang : Buku Diktat