

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KUAT LENTUR PADA
SAMBUNGAN BAUT SUSUNAN PANEL BETON AGREGAT KASAR
LIMBAH BATU ONYX**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



GIBRAN SATRIA SAMUDRA

NIM. 165060107111024

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2020

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KUAT LENTUR PADA
SAMBUNGAN BAUT SUSUNAN PANEL BETON AGREGAT KASAR
LIMBAH BATU ONYX
SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GIBRAN SATRIA SAMUDRA
NIM. 165060107111024

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Wisnumurti, MT

NIP. 19641207 199002 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Ming Narto Wijaya, ST., MT., M.Sc

NIK. 19660420 199303 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KUAT LENTUR PADA SAMBUNGAN
BAUT SUSUNAN PANEL BETON AGREGAT KASAR LIMBAH BATU ONYX

Nama Mahasiswa : Gibran Satria Samudra

NIM : 165060107111024

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Striktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Wisnumurti, MT

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Ir. Ming Narto Wijaya, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji III : Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT

Tanggal Ujian : 16 Juni 2021

SK Penguji : 931/UN10.F07/KP/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2021

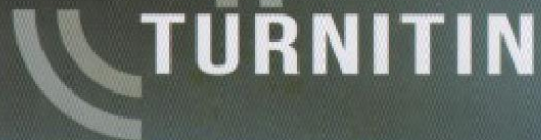
Mahasiswa,

Gibran Satria Samudra

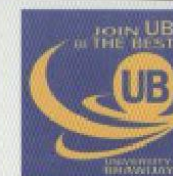
NIM. 165060107111024







**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

GIBRAN SATRIA SAMUDRA

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KUAT LENTUR DAERAH SAMBUNGAN
PADA SUSUNAN PANEL BETON AGREGAT KASAR LIMBAH BATU ONYX**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 19 Juli 2021



Jurusan Teknik Sipil

Alwafi Puji Rahario, ST, MT

NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wiatmiko, ST, M.Eng [Prac]

NIP. 19810220 200604 1 002



RINGKASAN

Gibran Satria Samudra, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Pengaruh Pembebanan Terhadap Kuat Lentur Daerah Sambungan Pada Susunan Panel Beton Agregat Kasar Limbah Batu Onyx*, Dosen Pembimbing: Wisnumurti dan Ming Narto Wijaya

Di dunia konstruksi saat ini perkembangan teknologi pembangunan dan infrastruktur sangat maju. Sebagai seorang *engineer*, dituntut untuk dapat berinovasi agar memudahkan proses konstruksi. Salah satu inovasi bahan yang dilakukan yaitu digunakannya beton dengan campuran limbah batu onyx sebagai agregat. Inovasi ini adalah alternatif untuk menjaga kestabilan harga sumber daya alam dan mengolah limbah batu onyx yang tidak terpakai menjadi berguna. limbah batu onyx sebagai agregat mampu membuat beton mencapai kuat tekan rata-rata 32,92 Mpa juga dapat menjadi inovasi yang baik. Batu onyx umumnya merupakan bahan pembuatan perabot rumah tangga seperti *bathtub* yang banyak ditemui pada wilayah tambang Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Kabupaten Tulungagung.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kuat lentur pada pasangan panel beton onyx dengan sambungan baut berdiameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm adalah Semakin besar diameter baut yang digunakan untuk sambungan pada pasangan panel beton onyx, kuat lentur yang dihasilkan juga semakin besar. Pada susunan panel onyx dengan sambungan baut diameter 6 mm didapatkan kekuatan lentur sebesar 1,1453 MPa, untuk susunan panel dengan sambungan baut diameter 8 mm menghasilkan kuat lentur sebesar 1,2593MPa, dan pada diameter 10 mm mengalami penurunan nilai kuatlentur dengan nilai sebesar 1,1169 MPa.

Kata kunci: Kuat Lentur Daerah Sambungan, Agregat Kasar Limbah Batu Onyx, kuat tekan, diameter baut.



SUMMARY

Gibran Satria Samudra, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2021, The Effect of Loading on the Flexural Strength of Joints in the Coarse Aggregate Concrete Panel Arrangement of Onyx Stone Waste, Academic Supervisor: Wisnumurti and Ming Narto Wijaya

In the construction world, the development of technology and infrastructure is very advanced. As an Engineer, we need to be more innovative to take advantage from any source to make the construction process more easily. One of the material innovations carried out is using Onyx Stone waste as a mixture in concrete. This innovation is an alternative to maintain the stability of natural resource prices and process unused onyx stone waste to be useful. Onyx stone waste as aggregate can make concrete reach an average compressive strength of 32.92 Mpa which can also be a good innovation. Onyx stone is generally a material for making household furniture such as bathtubs which are commonly found in the mining area at Gamping Village, Tulungagung. As the result of research from the flexural strength of the Onyx Concrete, it can be concluded that is the larger the diameter of the bolt used for connection to the onyx concrete panel pair, the greater the flexural stress produced. In the arrangement of the onyx panels with bolted connections of panels with bolts with a diameter of 8mm, the flexural stresses were 1.2593 Mpa, and at a diameter of 10mm, the flexural stress decreased with a value of 1.1169 Mpa.

Keywords: Flexural Strength of Joints, Onyx Stone Waste Aggregate, Compressive Strength, Bolt Diameter.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	5
2.1 Beton.....	5
2.1.1 Semen.....	5
2.1.2 Agregat Kasar.....	6
2.1.3 Agregat Halus.....	6
2.1.4 Air.....	7
2.1.5 Faktor Air Semen (FAS).....	7
2.2 Limbah.....	8
2.3 Batu Onyx.....	9
2.4 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design).....	10
2.5 Beton Bertulang.....	11
2.6 Dinding Panel Beton.....	12
2.7 Sambungan.....	14
2.8 Kuat Lentur Beton.....	17
2.9 Hasil Penelitian Sebelumnya.....	20
BAB III.....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.2.1 Alat Penelitian.....	23

3.2.2	Bahan Penelitian.....	23
3.3	Analisis Bahan.....	24
3.4	Tahap Penelitian.....	24
3.5	Diagram Alur Penelitian.....	25
3.6	Rancangan Penelitian.....	26
3.7	Persiapan Benda Uji.....	29
3.7.1	Pengujian kuat tekan.....	29
3.7.2	Pengujian kuat lentur sambungan pada panel beton.....	30
3.8	Variabel Penelitian.....	30
3.9	Metode Pengumpulan Data.....	31
3.10	Hipotesis Penelitian.....	31
BAB IV		33
4.1	Hasil Pengujian Komponen Dasar Campuran Beton.....	33
4.1.1	Semen.....	33
4.1.2	Air.....	33
4.1.3	Agregat halus.....	33
4.1.4	Agregat kasar.....	36
4.2	Perancangan Campuran Beton (Mix Design).....	38
4.3	Pengujian Baja Tulangan.....	39
4.4	Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton.....	40
4.5	Analisis Perhitungan Sambungan Baut.....	42
4.5.1	Pemeriksaan kekuatan pelat.....	42
4.5.2	Tahanan nominal baut.....	43
4.5.3	Perletakan baut.....	44
4.6	Analisis Perhitungan Beban Maksimum Panel Beton (P) Teoritis Sebagai Kuat Lentur.....	44
4.6.1	Pemodelan struktur.....	44
4.6.2	Analisis beban P maksimum.....	45
4.7	Perencanaan Bendung.....	46
4.7.1	Data pengukuran dimensi aktual panel beton.....	46
4.7.2	Kuat lentur panel beton.....	47
4.7.3	Kuat lentur pada daerah sambungan.....	50
4.7.4	Hubungan kuat lentur dan lendutan di daerah sambungan.....	52

4.7.5	Grafik hubungan beban dari Load Cell dengan lendutan dari LVDT	54
BAB V		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		63





DAFTAR GAMBAR

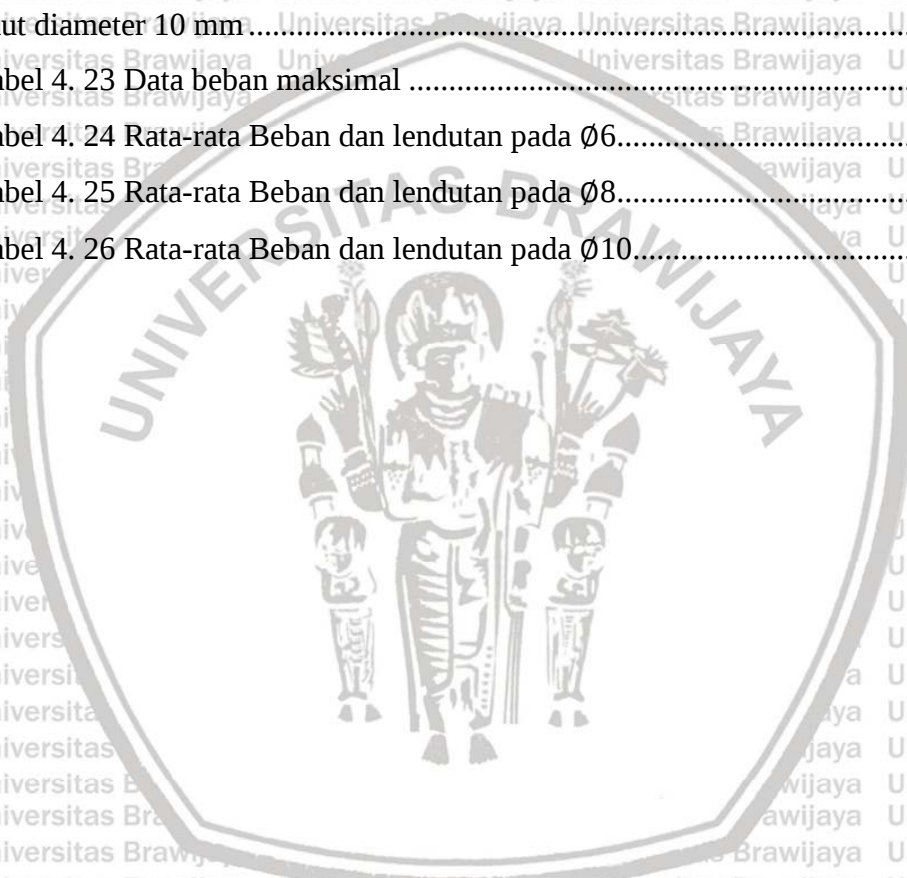
No.	Judul	Halaman
Gambar 2. 1	Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm	8
Gambar 2. 2	Limbah produksi kerajinan batu onyx desa Gamping.	10
Gambar 2. 3	Patah pada 1/3 bagian tengah	13
Gambar 2. 4	Balok Beton uji	13
Gambar 2. 5	Jenis-jenis alat penghubung geser (Shear Connector)	15
Gambar 2. 6	Kondisi beton sebelum retak	18
Gambar 2. 7	Kondisi beton setelah mulai retak.	18
Gambar 2. 8	Kondisi beton ultimit	19
Gambar 2. 9	Diagram momen-kurvatur untuk beton bertulang yang mengalami retak.	19
Gambar 3. 1	Diagram alir penelitian	25
Gambar 3. 2	Silinder beton.....	26
Gambar 3. 3	Dimensi dinding panel beton.....	27
Gambar 3. 4	Susunan panel beton	27
Gambar 4. 1	Grafik analisis gradasi agregat halus	34
Gambar 4. 2	Grafik analisis gradasi agregat kasar onyx	36
Gambar 4. 3	Letak sambungan baut	44
Gambar 4. 4	Model pembebanan struktur	45
Gambar 4. 5	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm.....	49
Gambar 4. 6	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm.....	49
Gambar 4. 7	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm.....	50
Gambar 4. 8	Perletakan sambungan pada panel beton	50
Gambar 4. 9	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm.....	53
Gambar 4. 10	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 8 mm.....	54
Gambar 4. 11	Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 10 mm.....	54
Gambar 4. 12	Grafik hubungan beban dengan lendutan.	55
Gambar 4. 13	Grafik rata-rata hubungan beban dengan lendutan Ø6.	56
Gambar 4. 14	Grafik rata-rata hubungan beban dengan lendutan Ø8.	56
Gambar 4. 15	Grafik Rata-rata hubungan beban Ø10	57



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor air semen, dan agregat kasar.....	7
Tabel 2. 2	Sifat Mekanik Onyx.....	9
Tabel 2. 3	tipe-tipe baut.....	14
Tabel 3. 1	Jumlah Benda Uji Beton.....	26
Tabel 3. 2	Jumlah Benda Uji Panel Beton.....	27
Tabel 3. 3	Volume Benda Uji.....	28
Tabel 3. 4	Kebutuhan Material Benda Uji.....	28
Tabel 3. 5		31
Tabel 4. 1	Pemeriksaan kadar air dan berat isi agregat halus.....	34
Tabel 4. 2	Berat jenis dan penyerapan agregat halus.....	35
Tabel 4. 3	Pemeriksaan kadar air dan berat isi agregat onyx.....	37
Tabel 4. 4	Berat jenis dan penyerapan agregat onyx.....	37
Tabel 4. 5	Perhitungan mix design agregat onyx.....	38
Tabel 4. 6	Campuran beton onyx.....	39
Tabel 4. 7	Mutu baja Ø6 mm.....	40
Tabel 4. 8	Kuat tekan silinder beton onyx.....	40
Tabel 4. 9	Perhitungan nilai rata-rata kuat tekan beton.....	41
Tabel 4. 10	Dimensi aktual panel beton onyx.....	46
Tabel 4. 11	Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 6 mm.....	47
Tabel 4. 12	Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm.....	47
Tabel 4. 13	Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 8 mm.....	47
Tabel 4. 14	Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm.....	48
Tabel 4. 15	Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 10 mm.....	48
Tabel 4. 16	Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 10 mm.....	48
Tabel 4. 17	Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm.....	51

Tabel 4. 18 Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm	51
Tabel 4. 19 Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm	52
Tabel 4. 20 Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm	52
Tabel 4. 21 Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm	53
Tabel 4. 22 Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 10 mm	53
Tabel 4. 23 Data beban maksimal	54
Tabel 4. 24 Rata-rata Beban dan lendutan pada Ø6	55
Tabel 4. 25 Rata-rata Beban dan lendutan pada Ø8	56
Tabel 4. 26 Rata-rata Beban dan lendutan pada Ø10	57



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Analisa Gradasi Agregat Halus.....	63
Lampiran 2.	Analisa Gradasi Agregat Kasar.....	63
Lampiran 3.	Kadar air Agregat.....	64
Lampiran 4.	Berat Isi.....	65
Lampiran 5.	Pengujian Pasangan Panel.....	66
Lampiran 6.	Dokumentasi Penelitian.....	71





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dunia konstruksi saat ini perkembangan teknologi pembangunan dan infrastruktur sangat maju. Orang-orang yang berkecimpung di dunia konstruksi pun (*Engineer*) secara tidak langsung dituntut untuk dapat menciptakan atau berinovasi yang bertujuan memudahkan dan meringankan pekerjaan mereka di bidang konstruksi ini. salah satu bentuk trobosan tersebut yaitu menginovasi bahan bangunan yang memiliki keuntungan atau kelebihan dibanding bahan lain dan dapat memberikan kontribusi besar bagi efisiensi sumber daya. Mendapatkan inovasi salah satu praktik konstruksi yang memiliki potensi tinggi di masa depan.

Inovasi bahan yang dilakukan yaitu digunakannya beton dengan campuran limbah batu *onyx* untuk menggantikan agregat beton biasa, dikarenakan beton sebagai bahan dasar pembangunan akan membutuhkan jumlah yang sangat banyak. Inovasi ini adalah alternatif untuk menjaga kestabilan harga sumber daya alam dan mengolah limbah batu *onyx* yang tidak terpakai menjadi berguna. limbah batu *onyx* sebagai agregat mampu membuat beton mencapai kuat tekan rata-rata 32,92 Mpa juga dapat menjadi inovasi yang baik.

Batu *onyx* umumnya merupakan bahan pembuatan perabot rumah tangga seperti *bathup* yang banyak ditemui pada wilayah tambang Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Kabupaten Tulungagung. Proses produksi perabot menggunakan bahan batu *onyx* menghasilkan sisa-sisa bongkahan batu. Sisa bongkahan tersebut dapat dijadikan inovasi pada agregat kasar dalam pembuatan panel beton yang nantinya disusun menjadi dinding pada sebuah konstruksi bangunan.

Pada penelitian ini, kami mencoba untuk menggabungkan dan menguji inovasi-inovasi yang sudah ada tersebut untuk menciptakan sebuah inovasi baru yang berjudul: “PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP KUAT LENTUR DAERAH SAMBUNGAN PADA SUSUNAN PANEL BETON AGREGAT KASAR LIMBAH BATU ONYX”

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, batu onyx dapat digunakan sebagai inovasi agregat kasar dalam campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji informasi lebih lanjut mengenai pengaruh pembebanan terhadap kuat lentur sambungan pada susunan panel beton agregat kasar limbah batu onyx.

1.3 Rumusan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai, maka diberikan Batasan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh yang diakibatkan oleh pembebanan pada daerah sambungan di susunan dinding panel beton agregat kasar batu onyx di setiap dimensi sambungan baut?
2. Bagaimana lentur yang terjadi pada daerah sambungan susunan panel beton agregat kasar batu onyx akibat pembebanan?
3. Bagaimana hubungan lendutan dengan kuat lentur dan juga beban yang bekerja di daerah sambungan?

1.4 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan batasan masalah pada penelitian yang dilakukan :

1. Semen yang digunakan adalah semen PPC merk Gresik.
2. Agregat kasar yang digunakan yaitu agregat hasil limbah batu onyx yang didapat Di Desa Gamping, Kec. Campur Darat Kabupaten Tulung Agung.
3. Agregat halus yang digunakan yaitu pasir yang berasal dari Lumajang, Jawa Timur.
4. Air yang digunakan adalah air bersih PDAM di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
5. Perencanaan campuran beton atau mix design disesuaikan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya oleh Setyowati (2016), karena dalam penelitiannya didapatkan proporsi campuran yang baik untuk beton agregat onyx dengan nilai FAS sebesar 0,4.
6. Sambungan pada panel beton agregat kasar batu onyx adalah sambungan baut.
7. Mengamati dampak yang terjadi akibat pembebanan terhadap kuat lentur pada panel beton agregat kasar batu onyx dengan tiap jenis dimensi sambungan baut.

8. Diameter baut yang digunakan adalah 6 mm, 8 mm dan 10 mm.

9. Tumpuan yang digunakan pada penelitian kuat lentur pada panel beton agregat kasar batu onyx dianggap tumpuan jepit.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh yang diakibatkan oleh pembebanan pada daerah sambungan di susunan dinding panel beton agregat kasar batu onyx di setiap dimensi sambungan baut.
2. Mengetahui lentur yang terjadi pada daerah sambungan susunan panel beton agregat kasar batu onyx akibat pembebanan.
3. Mengetahui hubungan lendutan dengan kuat lentur dan juga beban yang bekerja di daerah sambungan?

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai kuat lentur yang dihasilkan dari pemberian beban pada panel beton agregat kasar batu onyx.
2. Memanfaatkan sisa-sisa bongkahan batu onyx sebagai bahan bangunan beton pengganti agregat kasar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang terdiri dari berbagai material agregat penyusun dengan semen sebagai bahan pengikat yang menjadi satu kesatuan. Beton banyak dipilih sebagai bahan bangunan karena memiliki kekuatan yang kokoh, permukaan rata serta bertekstur halus. Beton tersusun atas campuran semen portland / semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, dan air yang bisa diberikan campuran tambahan atau tidak menurut SNI 2847-2013. Campuran-campuran beton dipengaruhi oleh produk yang ingin dibuat sesuai pengaplikasiannya. Semen mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Semen sangat berpengaruh pada kualitas mutu beton. Beton memiliki rongga udara kurang lebih 1%-2%, agregat (agregat kasar dan agregat halus) sekitar 60%-75% dan pasta semen (air dan semen) sekitar 25%-40%.

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun lemah dalam tariknya. Jika struktur itu langsung dan tidak diberi perkuatan yang cukup akan mudah gagal. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tariknya sekitar 9%-5% kuat tekannya. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton. Perkuatan yang umum adalah dengan menggunakan tulang baja yang jika dipadukan sering disebut dengan beton bertulang.

2.1.1 Semen

Semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok (KBBI, 2008). Semen merupakan suatu bahan yang akan mengalami proses pengerasan pada pencampurannya dengan air ataupun larutan asam (bersifat hidrolis). Bahan dasar semen terdiri dari tiga macam, yaitu gypsum 5%, material tambahan lain (batu kapur, pozzolan, abu terbang dan lain-lain) dan clinker/terak semen sebanyak 70% sd 95% (hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan tanah liat).

Semen memiliki beberapa kegunaan pada bangunan konstruksi, mengacu dari buku bahan bangunan (Hendro suseno, 2010) berikut kegunaan semen dari bidang structural maupun non struktural:

- a. Sebagai perekat agregat pada bahan bangunan.
- b. Bahan baku produk mortar (plamir, genteng, plesteran, acian, bata, *paving block*, pipa, dll).
- c. Sebagai bahan baku produk semen bersepat.
- d. Sebagai bahan baku perbaikan tanah.
- e. Sebagai bahan penambal kerusakan pada suatu beton (retakan/keropos).
- f. Sebagai bahan untuk dekorasi.

2.1.2 Agregat Kasar

Partikel-partikel yang sebagian besar tertahan pada saringan antara 4,8 mm (No.4) hingga 40 mm (No. 1½), disebut agregat kasar (Kerikil). Semakin kasar agregatnya, semakin ekonomis campurannya. Ukuran yang lebih besar menawarkan lebih sedikit luas permukaan partikel dibandingkan dengan volume yang setara dari ukuran kecil. Penggunaan ukuran maksimum agregat kasar yang diizinkan memungkinkan pengurangan kebutuhan semen dan air. Menggunakan agregat yang melebihi ukuran maksimum agregat kasar yang diizinkan dapat mengakibatkan *interlock* dan membentuk lengkungan pada bentuk beton. Hal ini memungkinkan area di bawah menjadi hampa, hanya diisi dengan partikel pasir dan semen yang lebih halus dan menghasilkan area yang tidak kuat.

Agregat kasar ini harus terhindar dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen dan air. Jenis agregat kasar yang sering digunakan yaitu Batu pecah alami, Kerikil alami, Agregat kasar buatan.

2.1.3 Agregat Halus

Semua partikel agregat halus (pasir) harus lolos dari saringan No. 4 hingga No. 16. Tetapi pada saat yang sama, agregat tidak boleh mengandung partikel yang sangat halus. Di antara dua ukuran ekstrim ini (3/16 hingga 1/16 inci), agregat halus harus mengandung partikel dengan ukuran yang bervariasi secara seragam atau harus digradasi dengan baik untuk mendapatkan mortar yang padat. Penilaian berbagai ukuran partikel agregat halus ini ditentukan dengan menggunakan Analisis Saringan. Agregat halus berguna untuk meningkatkan kemampuan kerja dan ekonomi, karena dari penggunaan semen yang lebih sedikit. Fungsi dari agregat halus adalah untuk mengisi kekosongan pada agregat kasar dan bertindak sebagai bahan yang dapat diterapkan dalam kondisi tersebut.

2.1.4 Air

Air adalah bahan utama, yang bila dicampur dengan semen, membentuk campuran yang mengikat agregat menjadi satu. Air menyebabkan pengerasan beton melalui proses yang disebut hidrasi. Hidrasi adalah reaksi kimia dimana senyawa utama dalam semen membentuk ikatan kimia dengan molekul air dan menjadi produk hidrat atau hidrasi. Rincian proses hidrasi dieksplorasi di bagian selanjutnya.

Air harus murni untuk mencegah terjadinya reaksi samping yang dapat melemahkan beton atau mengganggu proses hidrasi. Peran air penting karena rasio air terhadap semen merupakan faktor terpenting dalam produksi beton yang “sempurna”. Terlalu banyak air mengurangi kekuatan beton, sementara terlalu sedikit air akan membuat beton tidak bisa dikerjakan. Beton harus dapat dikerjakan sehingga dapat dikonsolidasikan dan dibentuk menjadi berbagai bentuk (misial Dinding, kubah, dll.). Karena beton harus kuat dan bisa dikerjakan, keseimbangan rasio semen dan air yang cermat diperlukan saat membuat beton. Air untuk proses *curing* pun harus memiliki syarat yang lebih tinggi dari air untuk pembuatan beton.

2.1.5 Faktor Air Semen (FAS)

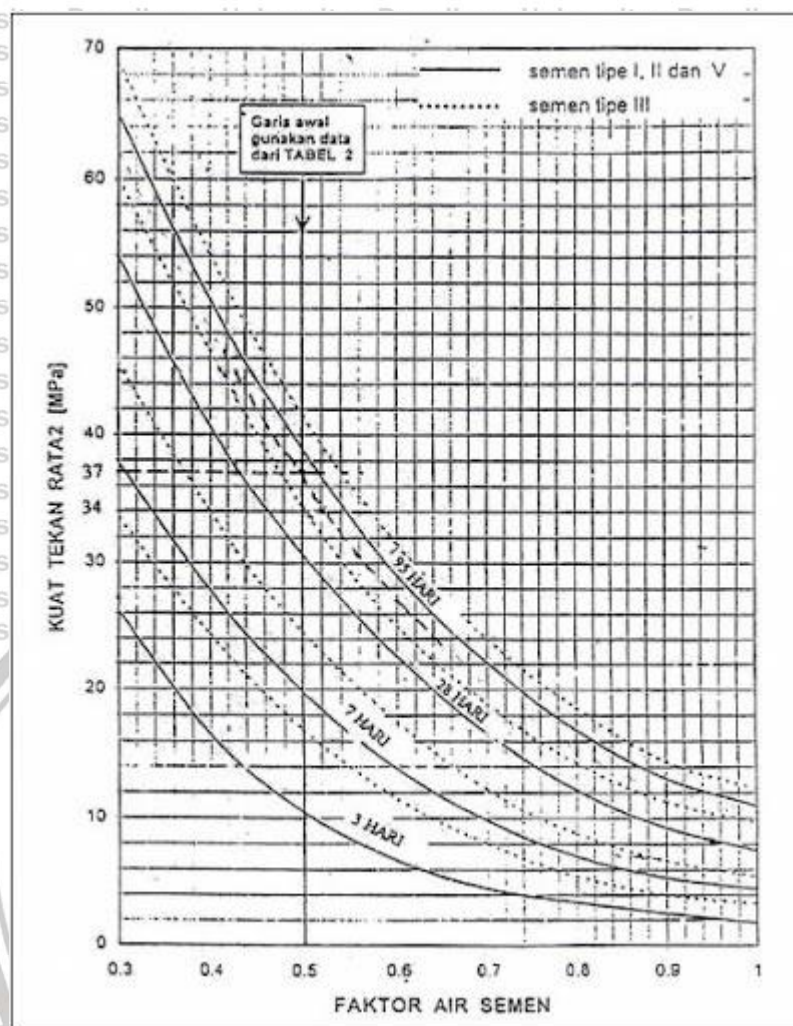
Faktor Air Semen (FAS) merupakan angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton. Menurut SNI-2834-2000 penentuan FAS yang dibutuhkan agar mencapai kuat tekan rata-rata didasarkan pada :

1. Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat digunakan Tabel 2.3 dan Gambar 2.8 untuk benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm atau Gambar 2.9 untuk benda uji berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm

Tabel 2.1
Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor air semen, dan agregat kasar

Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Type I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Type II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI-2834-2000



Gambar 2. 1 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm

Sumber : SNI-2834-2000

2. Pada lingkungan khusus, faktor air semen maksimal sesuai dengan SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air.

2.2 Limbah

Limbah memiliki banyak definisi dari berbagai sumber. Menurut KBBI, limbah merupakan 1 Sisa proses produksi; 2 bahan yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga untuk maksud biasa atau utama dalam pembuatan atau pemakaian; 3 barang rusak atau

cacat dalam proses produksi. Menurut Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999, Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan.

Adanya limbah akibat usaha dan/atau kegiatan tersebut dapat menimbulkan dampak bagi masyarakat di sekitar produksi, pengelolaan limbah yang tepat dapat membawa dampak positif jika dikelola dengan tepat, pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan 3R, yaitu *Reuse, Reduce, dan Recycle*.

2.3 Batu Onyx

Batu *Onyx* adalah batu yang berbeda dari "marmer". Jika dilihat dari luar, sulit dibedakan dengan marmer. Namun, *Onyx* bersifat semitransparan dan marmer tidak. Sementara marmer diekstraksi dari lapisan yang dekat dengan permukaan bumi, batu *Onyx* ditemukan di lapisan yang jauh lebih dalam dan mendapatkan nilai sesuai dengan warnanya.

Endapan *onyx* mempunyai komposisi kimia CaCO_3 terdiri dari mineral kalsit yang berlapis dengan ketebalan dan pola yang bervariasi. Sejenis kalsedon, batu *Onyx* dibentuk oleh kombinasi kalsium karbonat, magnesium karbonat, tembaga, oksida besi dan fluor sebagai hasil dari air bawah tanah yang mendidih.

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

Tabel 2. 2

Sifat Mekanik *Onyx*

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

Sumber : Marble Institute (2016)

Batu *Onyx* terbentuk dari metamorfosis batu kapur. Ukuran kristal lebih besar yang membedakan batu ini dari batuan karbonat sedimen. Komponen mineral utamanya ialah Kalsit, yang sering disebut dengan kuarsa, grafit, hematit, dan sebagainya. Analisis fisik dari batu *onyx*, yaitu:

1. Penyerapan air kurang dari 1%
2. Kepadatan rata-rata $2,7 \text{ gr / cm}^3$
3. Kekuatan tekan antara 19 - 140 MPa dan kekuatan tekan rata-rata 110 MPa
4. Kekuatan tarik rata-rata 4 MPa
5. Porositas relatif rendah dan bervariasi dari 0,3% - 1,2%

Dengan meninjau analisis fisik dari batu *onyx*, bahwa karakteristik dan kekuatan batu *onyx* ini akan berubah sesuai dengan perlakuan yang diterima oleh batuan ini. sangat disayangkan apabila limbah dari batuan ini di buang begitu saja, padahal jika di perlakukan dengan baik, banyak keuntungan yang didapat khususnya di bidang konstruksi. Tentunya dengan inovasi yang baik, seperti menggunakan agregat kasar dari bahan yang ramah lingkungan yang dapat mengurangi limbah, salah satunya limbah batu *onyx* yang berada di desa Gamping, Tulungagung.



Gambar 2. 2 Limbah produksi kerajinan batu *onyx* desa Gamping.

2.4 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) merupakan pemilihan komposisi campuran beton dengan mempertimbangkan kuantitas maupun perbandingan pada setiap material penyusun beton, agar beton yang telah di rencanakan mencapai kualitas yang diisyaratkan.

Menurut Mulyono (2004), terdapat beberapa metode dalam merencanakan campuran beton adalah sebagai berikut :

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.*

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

2.5 Beton Bertulang

Menurut SNI 03-2847-2002 “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.” Penggabungan dua jenis bahan antara beton yang diberi tulangan baja dapat menghasilkan kekuatan tekan yang relatif tinggi dibandingkan bahan lain, untuk kekuatan tarik diberikan oleh tulangan baja karena berdasarkan sifatnya yang kuat terhadap tarik.

Menurut Fiqih, 2019, Kombinasi antara beton dan baja dapat bekerja sama dikarenakan terjadinya beberapa alasan sebagai berikut :

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 derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu udara.

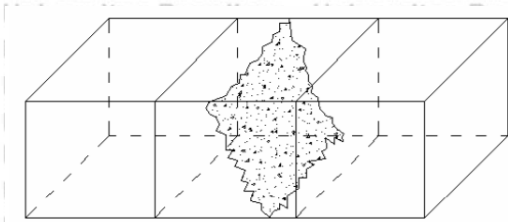
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 untuk perhitungan perencanaan struktur beton bertulang, terdapat beberapa istilah untuk kekuatan pada penampang beton bertulang sebagai berikut :

1. Kuat Nominal : adalah kuat suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai factor reduksi kekuatan yang sesuai. Kekuatan beton pada kondisi normal.
2. Kuat perlu, kuat suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti dalam peraturan SNI 03-2847-2013
3. Kuat rencana, kuat nominal dikalikan dengan suatu factor reduksi kekuatan ϕ untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

2.6 Dinding Panel Beton

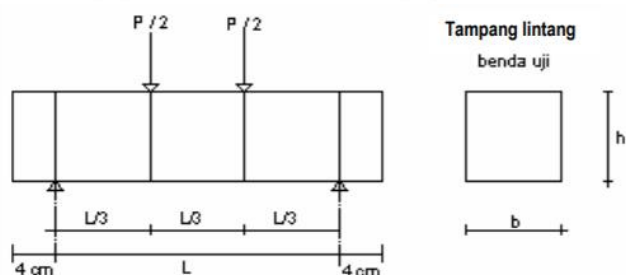
Dinding panel adalah salah satu perkembangan teknologi dan inovasi di bidang bahan bangunan (Beton pra-cetak). Beton pracetak menawarkan solusi yang tahan lama dan fleksibel dikarenakan dibuat dengan cetakan dan ukuran yang sudah ditentukan atau disesuaikan dengan pengaplikasiannya. Pracetak adalah alternatif hemat waktu dan biaya untuk beton pracetak (berumur selama sekitar 30 hari untuk mendapatkan kekuatan penuh dan stabilitas) dan mengurangi tenaga kerja di tempat dan risiko penundaan cuaca. Pengaplikasian dan komposisi dinding panel sama dengan dinding konvensional yaitu air, semen, agregat halus, agregat kasar dan diperkuat dengan tulangan.

Kuat lentur dinding panel diuji saat panel berumur sekitar 30 hari. Tegangan maksimum pada pengujian kuat lentur dicapai bagian bawah dinding panel. *Modulus of Rupture* (MOR) atau tegangan maksimum dilaksanakan dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka perhitungan MOR (SNI 4431-2011):



Gambar 2. 3 Patah pada 1/3 bagian tengah

Sumber : SNI 4431-2011



Gambar 2. 4 Balok Beton uji

Sumber : SNI 4431-2011

$$MOR = \frac{PL}{bh^2} \dots \dots \dots (2-1)$$

Keterangan :

MOR = Modulus Of Rupture (N/mm² atau MPa)

P = Beban maksimum dari mesin uji (N)

b = Lebar permukaan benda uji (mm) , 150 mm

h = Tinggi benda uji (mm), 150 mm

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm), 450 mm

Kekuatan lentur suatu material didefinisikan sebagai kemampuannya untuk menahan deformasi di bawah beban. Kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji. Balok uji mengalami tegangan tekan pada permukaan cekung dan tegangan tarik pada permukaan cembung.

Pengujian kuat lentur dilakukan supaya dapat mengetahui sifat-sifat mekanis yang lain pada beton tersebut. Kuat lentur beton merupakan salah satu parameter utama yang harus diketahui dan dapat memberikan gambaran tentang sifat-sifat mekanis yang lain pada beton. Pengujian kuat lentur juga dapat digunakan untuk meninjau pola dan lebar retak pada beton.

Menurut SNI 03-4154-1996, pengujian kuat lentur beton dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Hidupkan mesin uji tekan yang telah disiapkan dan tunggu sampai 30 detik.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Atur pembebanannya untuk menghindari terjadi benturan.
4. Atur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan-lahan dan kecepatannya 8 kg/cm^2 - 10 kg/cm^2 tiap menit.
5. Kurangi kecepatan pembebanan pada saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban mulai lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
6. Hentikan pembebanan pada saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban mulai lambat, sehingga tidak terjadi kejut.
7. Catat beban maksimum pada formulir pengujian.
8. Hitung kuat lentur

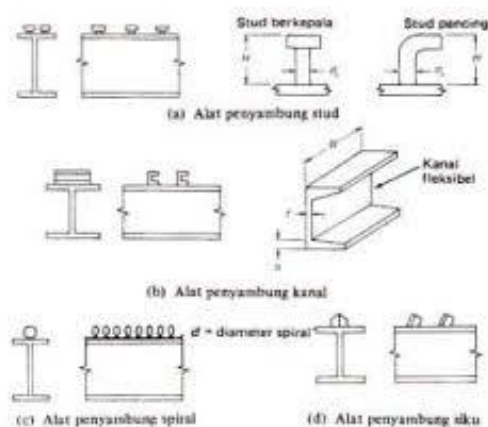
2.7 Sambungan

Dalam susunan komponen struktur dengan komponen yang lainnya membutuhkan sambungan dengan alat pengencang. Biasanya, Sambungan yang sering di gunakan ialah sambungan baut. Baut bermutu tinggi dapat menggantikan penggunaan paku sebagai alat pengencang, baut juga memiliki kelebihan seperti gaya yang mampu diterima lebih besar, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit dan dari segi biaya konstruksi lebih hemat.

Berikut adalah table tipe-tipe baut dengan diameter, *proof load*, dan kuat tarik minimumnya.

Tabel 2. 3
tipe-tipe baut

Baut	Mutu	d_b (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik min. , f_u (MPa)
A307	Normal	6,35 – 10,4	-	60
A325	Tinggi	12,7 – 25,4	585	825
		28,6 – 38,1	510	725
A490	Tinggi	12,7 – 38,1	825	1035
Keling	Normal		-	370



Gambar 2. 5 Jenis-jenis alat penghubung geser (Shear Connector)

Sambungan baut memiliki fungsi menahan perilaku geser yang dapat terjadi.

Biasanya, penghubung geser digunakan dalam suatu komponen struktur komposit. Berikut gambar jenis-jenis alat penghubung geser:

Untuk menentukan terjadinya perilaku aksi komposit penuh, maka besar gaya geser V_h adalah sebagai berikut.

$$V_h = A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \quad \text{..... (2-2)}$$

Dimana :

V_h = gaya geser yang terjadi

A_s = luas penampang baja

F_y = mutu baja (MPa)

f'_c = mutu beton (MPa)

A_c = luas penampang beton

Perhitungan *shear connector* kekuatannya dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Jumlah penghubung geser
2. Tegangan longitudinal rata-rata dalam pelat beton disekeliling penghubung.
3. Ukuran, penataan dan kekuatan tulangan pelat disekitar penghubung.
4. Ketebalan beton disekeliling penghubung
5. Derajat kebebasan dari setiap dasar pelat untuk bergerak sexara lateral dan kemungkinan terjadinya gaya tarik ke atas (*up lift force*) pada penghubung.
6. Daya lekat pada antar muka beton-baja
7. Kekuatan pelat beton

8. Tingkat kepadatan pada beton disekeliling pada setiap dasar penghubung.

Agus Setiawan (2013) mengatakan, pada perencanaan sambungan, perlu memperhatikan tahanan nominal baut. Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai dengan persyaratan LRFD harus memenuhi syarat berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

R_n = tahanan baut nominal

R_u = beban terfaktor

ϕ = faktor reduksi 0,75

Terdapat perbedaan nilai R_n tergantung pada masing-masing tipe sambungan, yaitu :

1. Tahanan geser baut : Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan :

$$R_n = m \times r_1 \times f_u^b \times A_b \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

r_1 = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser.

r_1 = 0,4 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b = kuat tarik baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

m = jumlah bidang geser

2. Tahanan tarik baut : Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung dari rumus :

$$R_n = 0,75 \times f_u^b \times A_b \dots\dots\dots (2-5)$$

3. Tahanan tumpu baut : Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung, besar nilainya ditentukan berdasarkan rumus :

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana :

d_b = diameter baut pada daerah tak berulir

t_p = tebal pelat

f_u = kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat

Rumus tersebut berlaku untuk semua baut, sedangkan untuk lubang baut slot panjang tegak lurus arah gaya berlaku rumus :

$$Rn = 2,0 \times d_b \times t_p \times f_u \dots\dots\dots (2-7)$$

Untuk menentukan letak antar baut (S) dan jarak baut ke tepi plat (S₁), harus memenuhi persyaratan berikut :

- Jarak antar baut (S) dalam mm
 $3d_b < S < 15 t_p$ atau 200 mm
- Jarak baut ke tepi plat (S₁) dalam mm
 $1,5d_b < S_1 < (4t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm

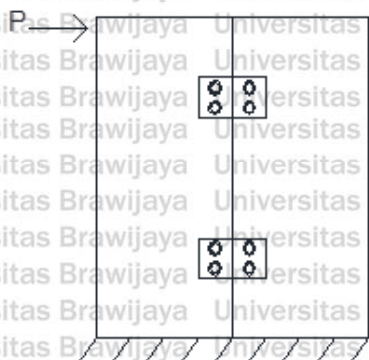
Dimana d_b merupakan diameter baut, dan t_p merupakan tebal plat sambung.

2.8 Kuat Lentur Beton

Lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar yang bekerja (Nawy,1990). Kuat lentur ditentukan oleh kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya yang tegak lurus dengan sumbu balok. Beban luar yang bekerja pada balok beton akan mengakibatkan deformasi, oleh karena itu balok beton memberikan reaksi berupa momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Uji lentur balok beton dilakukan sesuai dengan prosedur yang direkomendasikan ASTM untuk pembebanan tiga titik. Mesin Uji Kompresi Beton, dengan kapasitas pembebanan maksimum 1000 KN digunakan untuk uji lentur.

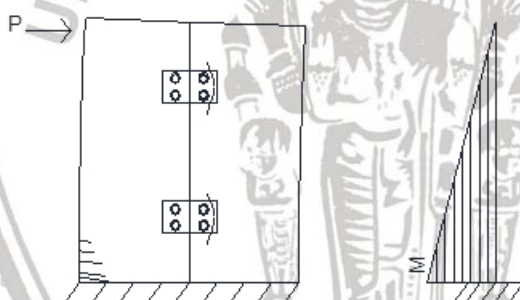
Secara garis besar, perilaku lentur balok beton dilihat pada keadaan beban :

1. Sebelum retak, pada kondisi ini distribusi tegangan yang terjadi masih bersifat *linear*, beton dan baja tulangan secara bersama sama berkerja untuk menahan gaya tarik yang bekerja dengan beton pada sisi tekan hanya menahan gaya tekan saja. kondisi ini terjadi ketika tegangan maksimum yang timbul pada bagian tarik lebih rendah dibawah nilai modulus keruntutan.



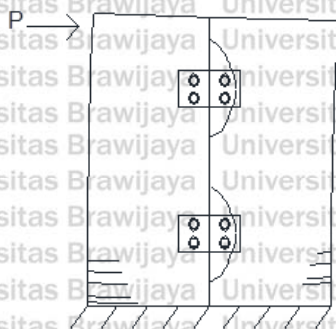
Gambar 2. 6 Kondisi beton sebelum retak

Setelah mulai retak, pada kondisi ini beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melewati daerah retak yang disebabkan retak yang terjadi mengakibatkan terputusnya aliran distribusi tegangan sepanjang sisi tarik beton. Distribusi tegangan tarik pada daerah beton terhenti dan diambil alih sepenuhnya oleh baja tulangan. Tulangan akan mulai meregang seiring dengan nilai beban yang semakin ditingkatkan hingga mencapai kondisi lelehnya.



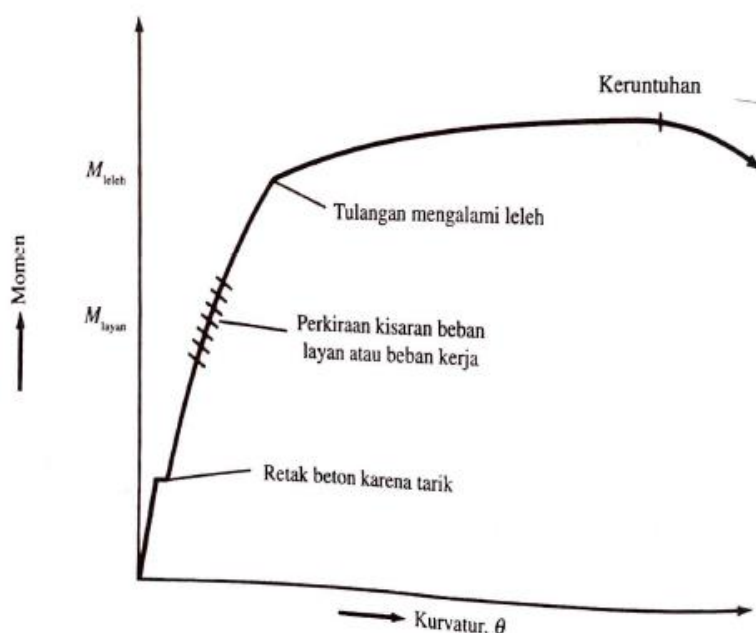
Gambar 2. 7 Kondisi beton setelah mulai retak.

2. Ultimit, pada kondisi ini kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai leleh, dan balok mengalami hancur. Komponen struktur telah mengalami retak dan tulangan baja meleleh, terjadi lendutan yang besar dan tidak akan dapat kembali ke panjang semula.



Gambar 2. 8 Kondisi beton ultimit

Dalam penggambaran diagram momen-kurvatur, berikut merupakan gambaran lebih jauh dari 3 tahap yang telah dibahas.



Gambar 2. 9 Diagram momen-kurvatur untuk beton bertulang yang mengalami retak.

Kuat lentur merupakan nilai tegangan tarik yang didapatkan dari momen lentur pada tiap momen penahan penampang benda uji. Pengujian kuat lentur pada beton dilakukan agar mengetahui sifat-sifat mekanis yang lain pada beton tersebut, karena kuat lentur beton merupakan salah satu parameter yang harus diketahui.

$$\sigma = \frac{M_y}{I} \dots\dots\dots (2-8)$$

Untuk menentukan momen digunakan persamaan :

$$M = PL \dots\dots\dots (2-9)$$

Menurut SNI 2847-2013 untuk menentukan momen inersia pada penampang berbentuk persegi panjang digunakan persamaan :

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \dots\dots\dots (2-10)$$

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dimana :

f_r = Modulus hancur (rupture) beton (MPa)

P = Gaya (kg)

L = Panjang bentang, 80 cm

b = Tebal penampang, 6 cm

h = Tinggi penampang, 80cm

2.9 Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut merupakan hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan, dan berkaitan dengan penelitian ini :

1. Edhi Wahyuni Setyowati dari Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya melakukan penelitian dengan judul “Concrete with Onyx Waste Aggregate as Aesthetically Vallued Structural Concrete” dan hasil penelitian menunjukkan bahwa pergantian agregat kasar beton dengan limbah batu onyx:
 - a. Kekuatan yang dihasilkan mampu memenuhi syarat beton struktural
 - b. Pada struktur mikro beton agregat limbah batu onyx, tidak terdapat perbedaan yang signifikan.
2. Dikutip dari M. Fiqih (2019), “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%. 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.”

3. Eka Fajar Suprayitno (2018), meneliti tentang Pengaruh Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang, pada penelitian ini dihasilkan bahwa antara kuat lentur pada balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan balok beton bertulang agregat kerikil tidak ada perbedaan yang signifikan. Dengan hasil kuat lentur rata-rata pada balok beton bertulang agregat limbah batu onyx sebesar 1725,63 kgm dan kuat lentur rata-rata pada balok beton bertulang agregat kerikil 1728,38 kgm.

4. Muhammad Fiqih Ilham A. (2019), meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Struktur Panel Beton, didapatkan hasil pengujian hipotesis dengan nilai signifikansi 5% menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara panel beton agregat limbah batu onyx dengan panel beton agregat kerikil. Pada penelitian tersebut, didapatkan perbandingan kuat lentur antara keduanya 7%, kuat lentur rata-rata pada panel beton agregat limbah batu onyx sebesar 3,89 MPa, sedangkan kuat lentur rata-rata beton agregat kerikil 4,19 MPa.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan penelitian ini dilakukan pada bulan Juli hingga Oktober tahun 2020.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

1. Satu set ayakan agregat kasar dan halus untuk pemeriksaan gradasi;
2. Cetakan silinder beton, diameter 15 cm dan tinggi 30 cm;
3. Timbangan kecil kapasitas 5kg dan timbangan kapasitas 150kg;
4. Alat uji kuat tekan untuk pengujian tekan silinder beton kapasitas 2000kN;
5. Alat uji slump beton segar;
6. Alat bantu proses pengecoran (ember, sendok semen, palu karet);
7. Cetakan bekisting dinding panel;
8. *Concrete mixer 500 liter* (alat pencampur bahan beton)
9. *Loading Frame* untuk pengujian kuat lentur dinding panel;
10. *Hydraulic Jack* yang berfungsi untuk memberikan beban bertahap;
11. Mesin penggetar beton (*vibrator concrete*) dengan kekuatan 4.000 vpm/70 Hz;
12. *LVDT* atau alat pembaca perpindahan yang terjadi.

3.2.2 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Semen PPC yang diproduksi PT. Semen Gresik.
2. Agregat kasar batu *Onyx*, berasal dari Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Tulungagung.
3. Agregat halus pasir dari Lumajang.

4. Air bersih PDAM di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.3 Analisis Bahan

1. Semen

Semen yang dipakai tidak dilaksanakan pengujian secara detail, hanya dilakukan pengamatan secara visual kondisi semen yang digunakan.

2. Air

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

3. Agregat Kasar

Limbah batu onyx dan kerikil yang dipilih ukurannya sesuai dengan analisa saringan yang telah ditetapkan, untuk kondisinya dibuat sesuai dengan kondisi di lapangan agar didapatkan penelitian yang sesuai.

4. Agregat Halus

Pasir yang ukurannya disesuaikan dengan analisa saringan yang telah ditetapkan.

5. Baja

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

3.4 Tahap Penelitian

1. Persiapan alat dan bahan.

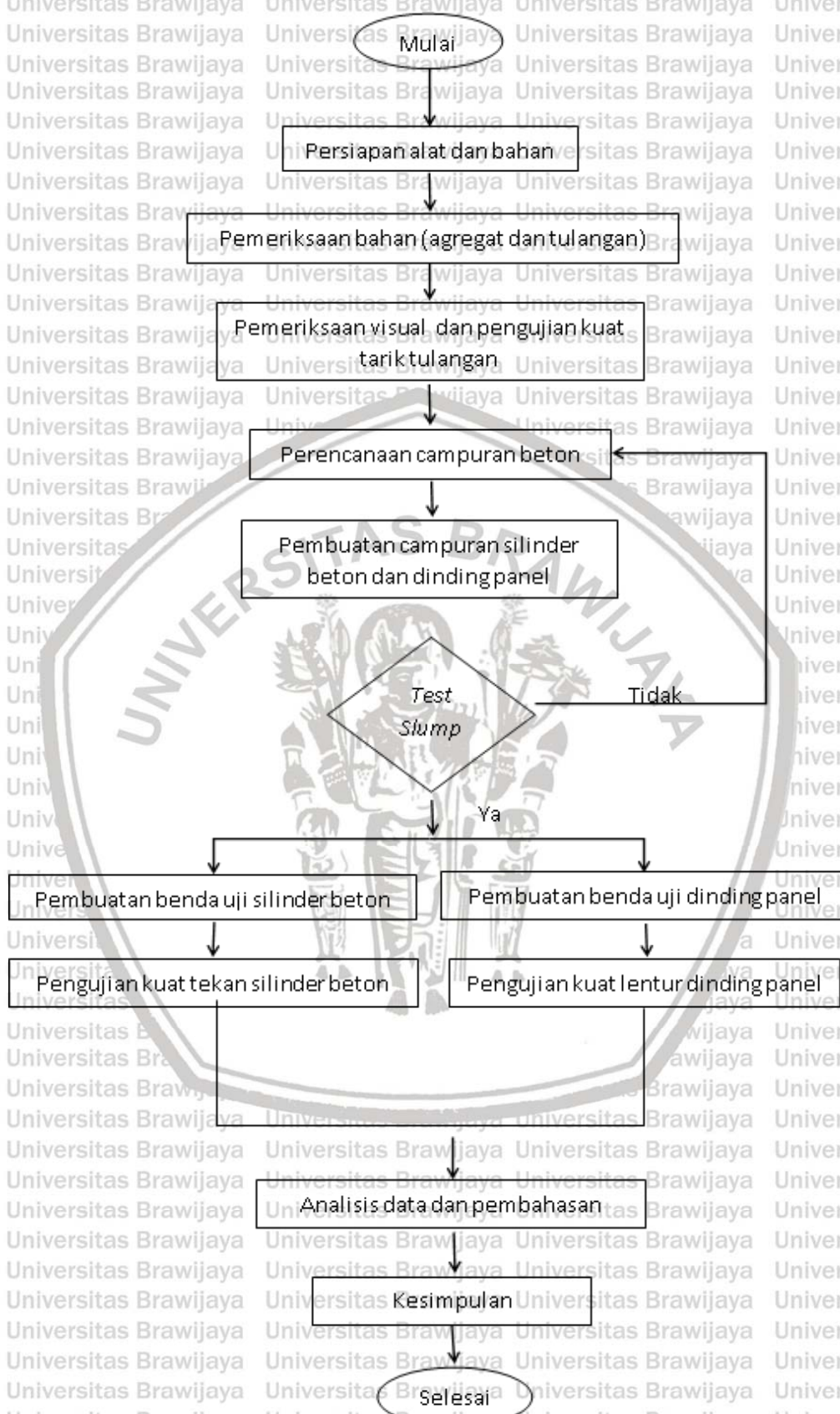
2. Analisis bahan: agregat dan tulangan.

3. Perencanaan campuran dan pembuatan benda uji: pembuatan benda uji silinder beton, test *slump*, pembuatan benda uji dinding panel beton onyx.

4. Pengujian benda uji: pengujian kuat tekan silinder beton agregat batu onyx dan kuat lentur dinding panel beton onyx.

5. Analisis dan pembahasan.

3.5 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.6 Rancangan Penelitian

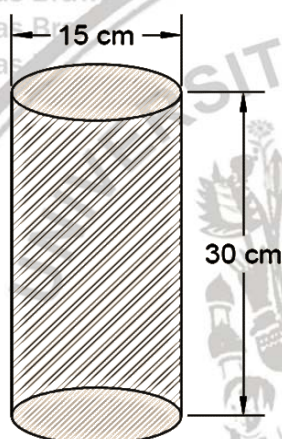
1. Pengujian Kuat Tekan pada Beton

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	Silinder Beton Onyx	20



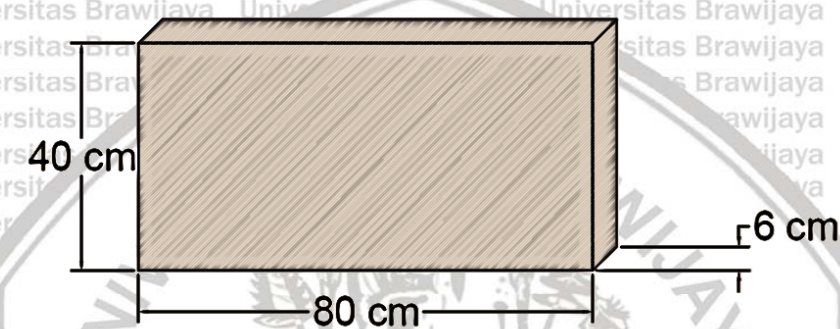
Gambar 3. 2 Silinder beton

2. Pengujian kuat lentur panel beton

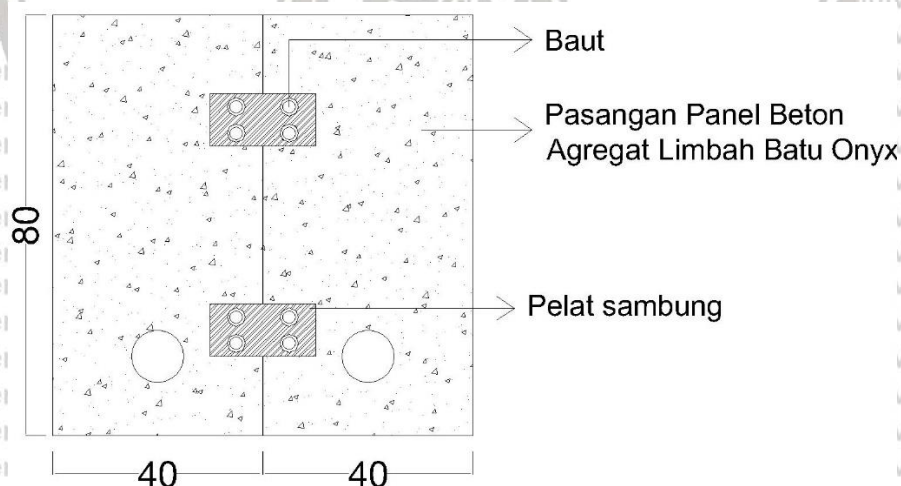
Jumlah benda uji panel beton dengan ukuran 80 cm x 40 cm x 6 cm yang digunakan adalah 26 buah benda uji panel beton *onyx* yang dipasangkan masing-masing 2 (dua) panel beton *onyx* yang disambung menggunakan sambungan baut dan pelat sambung dengan macam jenis diameter baut Ø6 mm, Ø8 mm, dan Ø10 mm. Cara pembebanan yang digunakan adalah *three point loading* dan dilakukan hingga panel mengalami retak sampai *Digital Microscope USB* tidak bisa digunakan lagi untuk mengamati lebar retak. Berikut tabel rincian benda uji yang digunakan :

Tabel 3. 2
Jumlah Benda Uji Panel Beton

No	Nama Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø6 mm	8 buah / 4 pasang panel
2	Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø8 mm	10 buah / 5 pasang panel
3	Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø10 mm	8 buah / 4 pasang panel



Gambar 3. 3 Dimensi dinding panel beton



Gambar 3. 4 Susunan panel beton

Tabel 3. 3
Volume Benda Uji

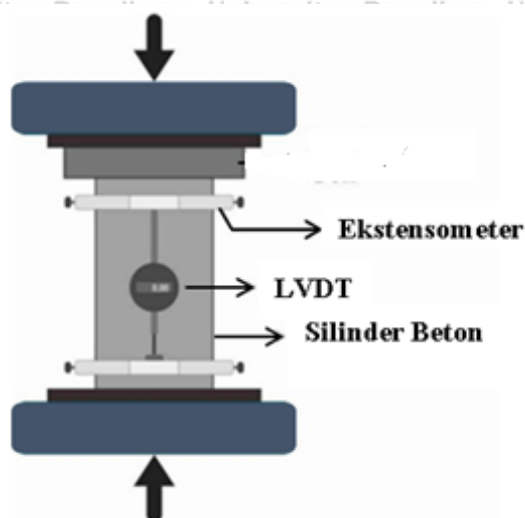
No	Nama Pengujian	Jenis Benda Uji	Volume (M ³) 1 Benda Uji	Jumlah Benda Uji (Buah)	Total Volume (m ³)
1	Kuat Tekan Onyx	Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm	0,005304	20	0,10608
2	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø6 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	0,0192	6	0,1152
3	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø8 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	0,0192	8	0,1536
4	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø10 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	0,0192	6	0,1152

Tabel 3. 4
Kebutuhan Material Benda Uji

No	Nama Pengujian	Jenis Benda Uji	Kebutuhan Material Beton (kg)			
			Onyx	Ag. Halus	Semen	Air
1	Kuat Tekan Onyx	Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm	749,5	449,71	196,30	160,61
2	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø6 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	20,16	12,09	5,28	4,32
3	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø8 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	20,16	12,09	5,28	4,32
4	Kuat Lentur Panel beton onyx dengan sambungan baut Ø10 mm	Panel Beton (80x40x6) cm	20,16	12,09	5,28	4,32

3.7 Persiapan Benda Uji

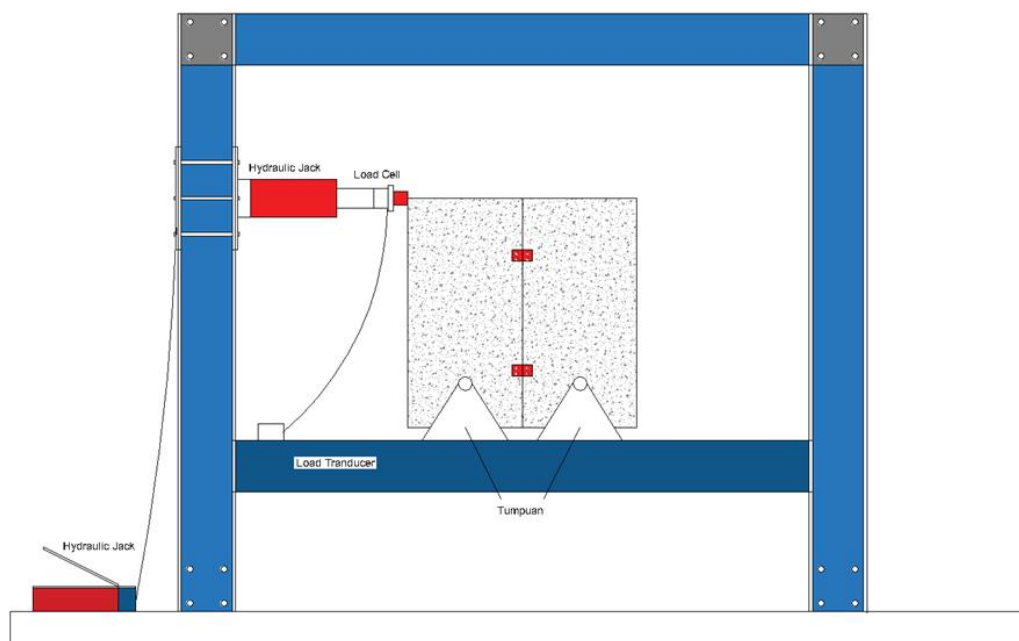
3.7.1 Pengujian kuat tekan



Langkah – langkah pengujian kuat tekan 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 untuk memudahkan dalam pencatatan data penelitian.
5. Mengeset alat *compressometer* pada posisi angka bacaan nol terlebih dahulu, dan kemudian meletakkan benda uji ke alat uji tekan.
6. Melakukan pengujian, dengan memberikan beban yang bertambah dengan kecepatan konstan.
7. Dengan pengujian ini didapatkan nilai kuat tekan yang ditampilkan pada alat uji kuat tekan.
8. Mencatat hasil nilai kuat tekan.

3.7.2 Pengujian kuat lentur sambungan pada panel beton



Langkah – langkah pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan benda uji, dengan setting pengujian pada *loading frame*.
2. Letakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian.
3. Melaksanakan pengujian dengan memberi beban kelipatan 100-kg hingga melampaui beban layan.
4. Hitung kuat lentur

3.8 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dapat diartikan variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan, dengan kata lain merupakan faktor – faktor yang diukur dan dibuat berbeda oleh peneliti dalam melihat suatu perilaku yang sedang diteliti. Pada penelitian ini variabel bebas yang dilakukan adalah ukuran diameter pada sambungan baut.
2. Variabel terikat atau disebut sebagai variabel output merupakan hal-hal yang diamati oleh peneliti yang menjadi akibat karena adanya pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah kuat lentur dinding panel beton.

Tabel 3. 5

Variabel Penelitian

No	Jenis Variabel	Keterangan
1.	Variabel bebas	1. Ukuran Diameter Baut
2.	Variabel terikat	1. Kuat Lentur Dinding Panel Beton

3.9 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dimulai dengan menganalisa bahan, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Setelah benda uji silinder dan panel beton agregat onyx telah selesai dibuat dengan kuat mutu rencana 32 MPa dan telah melewati masa curing 28 hari data awal yang diambil adalah uji tekan silinder beton onyx, setelah itu dilaksanakan uji kuat lenturnya dengan *loading frame*. Pada pengujian panel beton onyx tersebut didapatkan data kuat lentur sesuai dengan beban yang diberikan pada benda uji.

3.10 Hipotesis Penelitian

Dilakukan hipotesis pada penelitian ini berupa kajian teori dan analisis :

1. Sambungan baut akan mengalami keruntuhan akibat pengaruh oleh pembebanan.
2. Semakin besar dimensi baut yang digunakan untuk sambungan pada pasangan panel beton onyx, semakin besar kekuatan lentur yang dihasilkan.
3. Lendutan di daerah sambungan bagian bawah akan lebih kecil dari daerah sambungan bagian atas, sebaliknya kuat lentur pada daerah sambungan bagian bawah akan lebih besar dari daerah sambungan bagian atas.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komponen Dasar Campuran Beton

Pengujian utama penelitian ini adalah pengujian pembebanan terpusat secara horizontal terhadap pasangan dinding panel beton untuk mengetahui kuat lentur dari beton yang di uji.

4.1.1 Semen

Dalam penelitian ini semen yang digunakan yaitu semen PPC (*Portland Pozzoland Cement*) jenis IP-U yang merupakan semen portland pozolan yang dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton. Semen tersebut diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang umum digunakan karena telah memenuhi standar yang sesuai dengan SNI 15 – 0302 – 2004, dan telah memenuhi syarat pengujian kimia dan fisika sesuai dengan SNI 15 – 2049 – 2004, sehingga tidak dilakukan pengujian khusus.

4.1.2 Air

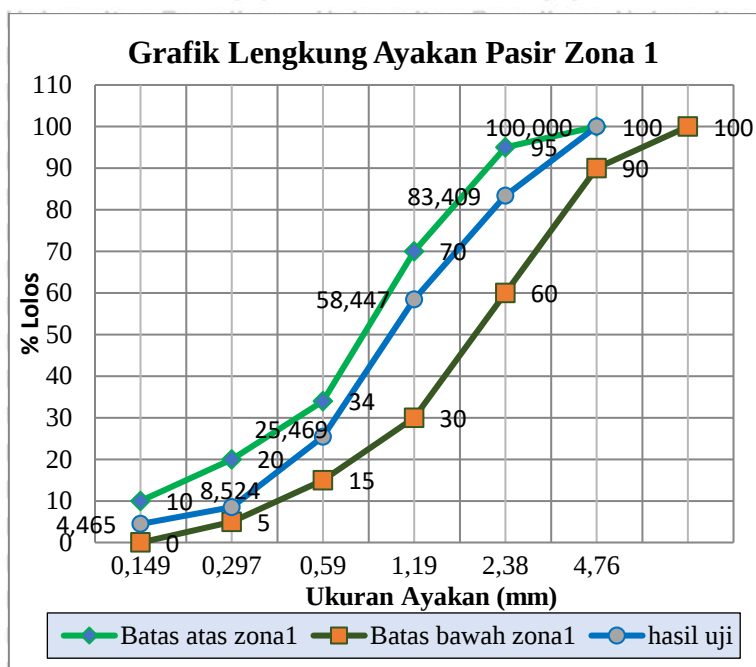
Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air PDAM Kota Malang yang sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan peraturan dan tidak dilakukan pengujian terhadap air. Berikut merupakan beberapa standar peraturan yang digunakan dalam campuran adukan beton:

1. Memiliki kadar keasaman sekitar 6,0 sampai 8,0
2. Rasanya tidak payau,
3. Air bersih yang tidak mengandung minyak, asam, alkali, zat organis, atau bahan lainnya sehingga dapat merusak beton atau tulangan

4.1.3 Agregat halus

4.1.3.1 Analisis gradasi agregat halus

Hasil pengujian pemeriksaan agregat halus yang tergambarkan pada gambar 4.1 termasuk dalam Zona 1. Penentuan zona berdasarkan persentase lolos ayakan dan ukuran ayakan. Berdasarkan ASTM C-33 (2002) untuk modulus kehalusan butir yaitu 2,30 – 3,10, untuk pasir Lumajang yang digunakan pada penelitian ini memiliki modulus kehalusan 3,2730. maka modulus kehalusan yang digunakan tidak sesuai syarat ASTM C-33 (2002).



Gambar 4. 1 Grafik analisis gradasi agregat halus

4.1.3.2 Pengujian kadar air dan berat isi pada agregat halus

Pemeriksaan kadar air diperlukan untuk memperhitungkan besarnya kandungan air pembuatan mix design yang bertujuan untuk mendapatkan komposisi yang ideal. Untuk mendapatkan hasilnya dilakukan perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air untuk mendapatkan berat isi agregat. Beberapa data yang didapatkan dari hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.1 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

Tabel 4. 1

Pemeriksaan kadar air dan berat isi agregat halus

Pengujian	Nilai	Satuan
Kadar Air Rata-rata	4,674	%
Berat Isi Rata-rata	2,0298	kg/cc

4.1.3.3 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan bertujuan untuk mendapatkan berat jenis curah (seluruhnya), berat jenis permukaan dengan keadaan jenuh (SSD), berat jenis semu (partikel) dan persentase penyerapan yang mampu dilakukan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel berikut.

Tabel 4.2

Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Keterangan	Kode	Satuan	Nilai
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	Bj	(gr)	500,0
Berat Benda Uji Kering Oven	Bk	(gr)	495,0
Berat Piknometer + Air (Pada Suhu Kamar)	B	(gr)	677,0
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (Pada Suhu Kamar)	Bt	(gr)	972,5

Keterangan	Kode	Nilai
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	$Bk/(B+Bj-Bt)$	2,421
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	$Bj/(B+Bj-Bt)$	2,445
Berat Jenis Semu (Apparent Spesific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2,481
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	1,01

Syarat untuk berat jenis kering permukaan jenuh pada ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20, berdasarkan tabel 4.2 didapatkan berat jenis kering permukaan jenuh sebesar 2,445 sehingga memenuhi persyaratan. Sedangkan nilai penyerapan air sebesar 1,01% memenuhi persyaratan yang seharusnya antara 0,2% - 2,0%.

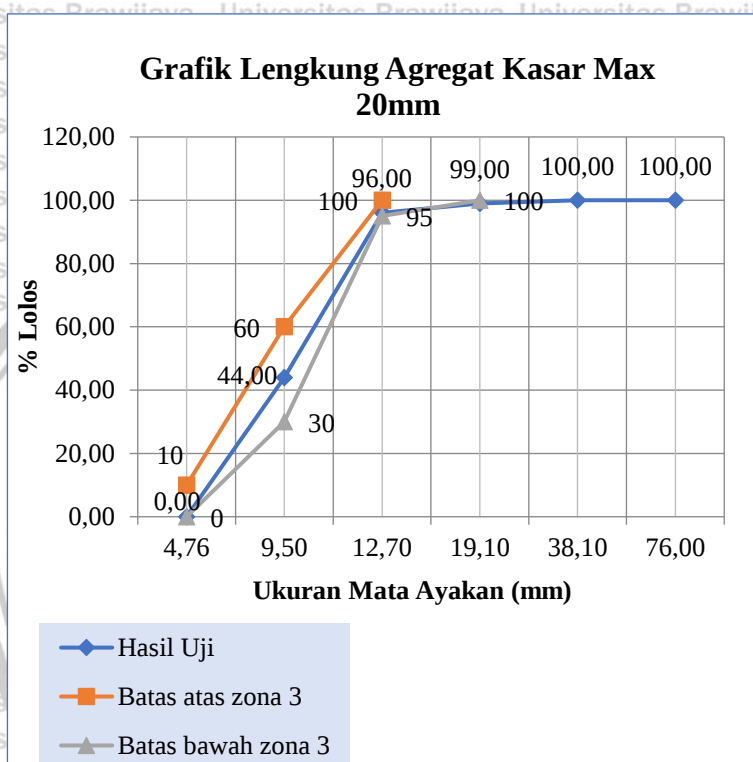
4.1.4 Agregat kasar

Pengujian bahan agregat kasar *onyx* yang dilakukan antara lain berupa analisa ayakan (gradasi), berat jenis dan penyerapan agregat, berat isi, serta kadar air.

Berikut adalah hasil pengujian agregat *onyx*, antara lain:

a. Analisis gradasi agregat kasar *onyx*

Hasil pengujian analisis gradasi agregat kasar limbah batu *onyx* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik analisis gradasi agregat kasar *onyx*

Berdasarkan hasil grafik pada Gambar 4.2 agregat kasar yang digunakan memiliki gradasi agregat maksimum 20 mm. Nilai modulus kehalusan *onyx* tersebut sebesar 6,57 hasil ini memenuhi persyaratan ASTM C-33 (2002) yaitu berkisar antara 5,5 - 8,5. maka modulus kehalusan yang digunakan sesuai dengan ASTM C-33 (2002).

b. Pengujian kadar air dan berat isi agregat kasar *onyx*

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan agregat kasar limbah batu *onyx* dalam pembuatan mix design sehingga mampu mendapatkan komposisi yang ideal. Berat isi agregat sendiri ialah perbandingan

antara berat agregat halus dengan volume air. Hasil pengujian kadar air dan berat isi agregat kasar onyx disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 3
Pemeriksaan kadar air dan berat isi agregat onyx

Pengujian	Nilai	Satuan
Kadar Air Rata-rata	2,0915	%
Berat Isi Rata-rata	2,2917	gr/cc

c. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat onyx

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan persentase penyerapan. Sebelumnya juga telah dijelaskan bahwa, berat jenis merupakan perbandingan berat pasir dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan pasir. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar onyx disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4
Berat jenis dan penyerapan agregat onyx

Keterangan	Kode	Satuan	A	B
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4984,1	4984,6
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3114,5	3117,5

Keterangan	Kode	A	B	Rata - Rata
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)	2,643	2,648	2,6455
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2,652	2,656	2,654
Berat Jenis Semu	Bk/(Bk-Ba)	2,666	2,67	2,668

Apparent Specific
Gravity)

Penyerapan (%)

(Absorption)

$$(B_j - B_k) / B_k \times 100\%$$

0,32

0,31

0,315

Berdasarkan pada Tabel 4.4 didapatkan hasil pengujian berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar onyx sebesar 2,654 memenuhi syarat ASTM C-33 yakni 1,60-3,20. Dan penyerapan sebesar 0,315% sesuai dengan syarat ASTM C-33 yakni <1%.

4.2 Perancangan Campuran Beton (Mix Design)

Campuran beton merupakan perpaduan dari komposit material penyusunnya, sehingga karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. Perancangan campuran beton (*mix design*) dimaksudkan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis serta ekonomis. Pada perencanaan *mix design* ini didapatkan hasil campuran beton agregat onyx (Tabel 4.5).

Tabel 4. 5
Perhitungan mix design agregat onyx

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	20	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	Diketahui	12,000	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	32,000	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	PPC	-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	-
7	Faktor Air Semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0,4	-
8	Faktor Air Semen Maksimum	Ditetapkan	0,4	-
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	Ditetapkan	20	mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225	kg/m3
12	Kadar semen	(11) : (7)	375,00	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m3

15	FAS yg disesuaikan			
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 1	-
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	37,5%	-
18	Berat jenis relatif gabungan (SSD)	Diketahui	2,655	kg/m ³
19	Berat isi beton	Grafik 16	2280	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1680	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	630	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1050	kg/m ³

Tabel 4. 6

Campuran beton onyx

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m ³)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Teoritis)	275,00	225,00	630,00	1050,00
Tiap campuran benda uji	25,49	0,09	58,40	97,34
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Aktual)	275,00	225,00	630,00	1050,00
Tiap campuran benda uji	35,69	29,20	81,77	136,28
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,4	2,3	3,8
Proporsi (Aktual)	1	0,4	2,29	3,82

Komposisi pembuatan beton agregat normal yang digunakan pada penelitian ini diperoleh komposisi pembuatan beton agregat *onyx* dengan perbandingan semen : air : pasir : agregat kasar *onyx* yakni, 1 : 0,4 : 2,29 : 3,82 dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Pada penelitian ini campuran menggunakan acuan *mix design* diatas.

4.3 Pengujian Baja Tulangan

Pengujian baja tulangan yang dilakukan yaitu uji tarik. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik baja beton dan parameter lainnya (tegangan leleh, tegangan putus dan regangan). Penggunaan baja tulangan dalam penelitian ini berfungsi sebagai tulangan praktis, dimana pada saat di lapangan agar tidak terjadi runtuh saat proses mobilisasi. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulangan Ø6 mm dengan 3 sampel tulangan. Hasil pengujian uji tarik baja ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7

Mutu baja Ø6 mm

Nama Pengukuran	Satuan	Ø 6-1	Ø 6-2	Ø 6-3	Rata-rata
Diameter	mm	6	6,00	5,97	5,99
Panjang Awal	mm	200	200	200	200
Berat	gr/mm	222,0	222	220	221,00
Luas Awal	mm ²	28,31	28,25	27,99	28,18
Beban Leleh	kN	6	6	6	6
Pertambahan Panjang Leleh	mm	5	5	5	5
Beban Putus	kN	8	8	8	8
Pertambahan Panjang Putus	mm	50,00	47,50	55,00	50,83
Py	N	6000	6000	6000	6000
εy	%	2,5	2,5	2,5	2,5
Fy	Mpa	211,93	212,41	214,34	212,90
Pu	N	8000	8000	8000	8000
εu	%	25,00	23,75	27,50	25,42
Fu	MPa	282,57	283,21	285,79	283,86

4.4 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton merupakan pengujian untuk mengetahui harga kekuatan tekan dengan pemberian beban yang diterima oleh penampang benda uji. Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan umur 28 hari menggunakan alat *Compression Testing Machine* di Laboratorium sebanyak 15 buah silinder beton agregat *onyx*. Berikut hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8

Kuat tekan silinder beton onyx

No	Tanggal Pengecoran	Kode Beton	Beban (kN)	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	24/09/2020	SO-1	293	12,62		16,57	
2	24/09/2020	SO-2	220	12,33	176,786	12,44	18,55
3	24/09/2020	SO-3	302	12,37		17,08	

4	24/09/2020	SO-4	303	12,56	17,14
5	24/09/2020	SO-5	307	12,32	17,37
6	28/09/2020	SO-6	379	12,57	21,44
7	28/09/2020	SO-7	370	12,64	20,93
8	28/09/2020	SO-8	341	12,66	19,29
9	28/09/2020	SO-9	230	12,65	13,01
10	28/09/2020	SO-10	362	12,81	20,48
11	01/10/2020	SO-11	391	12,73	22,12
12	01/10/2020	SO-12	293	12,42	16,57
13	01/10/2020	SO-13	439	12,82	24,83
14	01/10/2020	SO-14	359	12,69	20,31
15	01/10/2020	SO-15	331	12,5	18,72

Berdasarkan Tabel 4.8, dari pengujian tekan tekan silinder beton diperoleh nilai rata-rata kekuatan tekan beton agregat *onyx* sebesar 18,55 MPa. Nilai rata-rata kuat tekan yang dihasilkan kurang dari nilai kuat tekan yang ditargetkan ($f'_c = 32$ MPa)

Untuk menentukan nilai simpangan baku, digunakan data hasil perhitungan nilai rata-rata kuat tekan beton pada Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4. 9

Perhitungan nilai rata-rata kuat tekan beton

No	Kode	X	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) ²
1	SO-1	16,574		-2,033	4,131
2	SO-2	12,444		-6,162	37,969
3	SO-3	17,083		-1,524	2,321
4	SO-4	17,139		-1,467	2,152
5	SO-5	17,366		-1,241	1,539
6	SO-6	21,438		2,832	8,021
7	SO-7	20,929	18,55	2,323	5,396
8	SO-8	19,289		0,683	0,466
9	SO-9	13,010		-5,596	31,318
10	SO-10	20,477		1,870	3,499
11	SO-11	22,117		3,511	12,326
12	SO-12	16,574		-2,033	4,131

13	SO-13	24,832	6,226	38,763
14	SO-14	20,307	1,701	2,893
15	SO-15	18,723	0,117	0,014
Jumlah				154,938

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X - X_{rt})^2}{(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{154,938}{(15-1)}} = 3,3267 \text{ Mpa}$$

Perhitungan kuat tekan karakteristik beton

$$f_c = f_{cr} - k.s$$

$$f_{cr} = 18,55 \text{ MPa}$$

$$k = 1,64$$

$$f_c = 18,55 - 1,64 \times 3,3267$$

$$= 13,094 \text{ Mpa}$$

Dari hasil perhitungan kuat tekan karakteristik beton, didapatkan nilai kuat tekan karakteristik beton lebih kecil daripada kuat tekan beton rata-rata sebesar 13,094 MPa.

4.5 Analisis Perhitungan Sambungan Baut

4.5.1 Pemeriksaan kekuatan pelat

- Ditentukan :

Pelat Baja BJ 37

$F_y = 240 \text{ Mpa}$

Panjang = 100 mm

Lebar = 100 mm

Tebal = 3 mm

- Luas

$$A_g = 3 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_n = U \cdot A_e = A_g - n \cdot d \cdot t \rightarrow U = 1, \text{ sehingga } A_n = A_e$$

$$A_{n-\phi 6 \text{ mm}} = 300 - 2(6 + 2)(3) = 252 \text{ mm}^2$$

$$A_{n-\phi 8 \text{ mm}} = 300 - 2(8 + 2)(3) = 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{n-\phi 10 \text{ mm}} = 300 - 2(10 + 2)(3) = 228 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan Pelat

Leleh : $T_n = f_y \cdot A_g = 240 \cdot 300 = 72000 \text{ N} = 7,2 \text{ ton}$
 Fraktur $\phi 6 \text{ mm}$: $T_n = f_u \cdot A_e = 370 \cdot 252 = 93240 \text{ N} = 9,324 \text{ ton}$
 Fraktur $\phi 8 \text{ mm}$: $T_n = f_u \cdot A_e = 370 \cdot 240 = 88800 \text{ N} = 8,880 \text{ ton}$
 Fraktur $\phi 10 \text{ mm}$: $T_n = f_u \cdot A_e = 370 \cdot 228 = 84360 \text{ N} = 8,436 \text{ ton}$
 Fraktur rata-rata = 8,88 ton

4.5.2 Tahanan nominal baut

■ Geser

$$R_n = m \times r_1 \times f_u^b \times A_b$$

Dengan keterangan :

m = jumlah bidang geser = 2

r_1 = 0,5 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

f_u^b = kuat tarik baut = 60 Mpa

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Maka didapatkan nilai tahanan geser baut tiap diameter sebagai berikut :

$R_n \phi 6 \text{ mm} = 0,170 \text{ ton / baut}$

$R_n \phi 8 \text{ mm} = 0,302 \text{ ton / baut}$

$R_n \phi 10 \text{ mm} = 0,471 \text{ ton / baut}$

■ Tumpu

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u^p$$

Dengan keterangan :

d_b = diameter baut

t_p = tebal plat

f_u^p = kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat = 370 MPa

Maka didapatkan tahanan tumpu baut sebesar :

$R_n \phi 6 \text{ mm} = 1,598 \text{ ton / baut}$

$R_n \phi 8 \text{ mm} = 2,131 \text{ ton / baut}$

$R_n \phi 10 \text{ mm} = 2,664 \text{ ton / baut}$

Dari perhitungan Tahanan Nominal Geser dan Tumpu diatas, maka digunakan tahanan nominal geser baut.

$R_n \phi 6 \text{ mm} = 0,170 \text{ ton / baut}$

$R_n \text{ baut } \phi 6 \text{ mm} = 0,170 \times 0,85 \times 8 \text{ baut} = 1,156 \text{ ton} = 1156 \text{ kg}$

$R_n \phi 8 \text{ mm} = 0,302 \text{ ton / baut}$

$R_n \text{ baut } \phi 8 \text{ mm} = 0,302 \times 0,85 \times 8 \text{ baut} = 2,0536 \text{ ton} = 2053,6 \text{ kg}$

$$R_n \phi 10 \text{ mm} = 0,471 \text{ ton / baut}$$

$$R_n \text{ baut } \phi 10 \text{ mm} = 0,471 \text{ ton} \times 0,85 \times 8 \text{ baut} = 3,2028 \text{ ton} = 3202,8 \text{ kg}$$

4.5.3 Perletakan baut

Jarak antar baut (S) harus memenuhi syarat berikut $3d_b < S < 15 t_p$ atau 200 mm dan jarak baut ke tepi plat (S_1) harus memenuhi syarat berikut $1,5d_b < S_1 < (4t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm. Maka dapat ditentukan untuk perletakan baut pada plat sebagai berikut :

- Baut $\phi 6 \text{ mm}$

Digunakan jarak antar baut (S) = 40 mm

Digunakan jara baut ke tepi plat = 30 mm

- Baut $\phi 8 \text{ mm}$

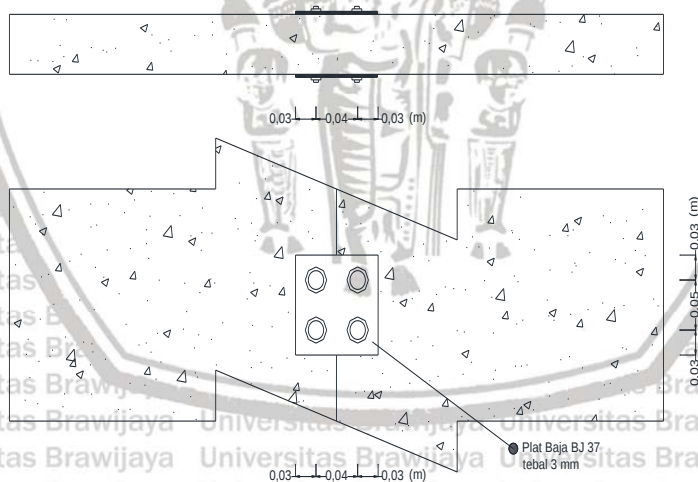
Digunakan jarak antar baut (S) = 40 mm

Digunakan jara baut ke tepi plat = 30 mm

- Baut $\phi 10 \text{ mm}$

Digunakan jarak antar baut (S) = 40 mm

Digunakan jara baut ke tepi plat = 30 mm

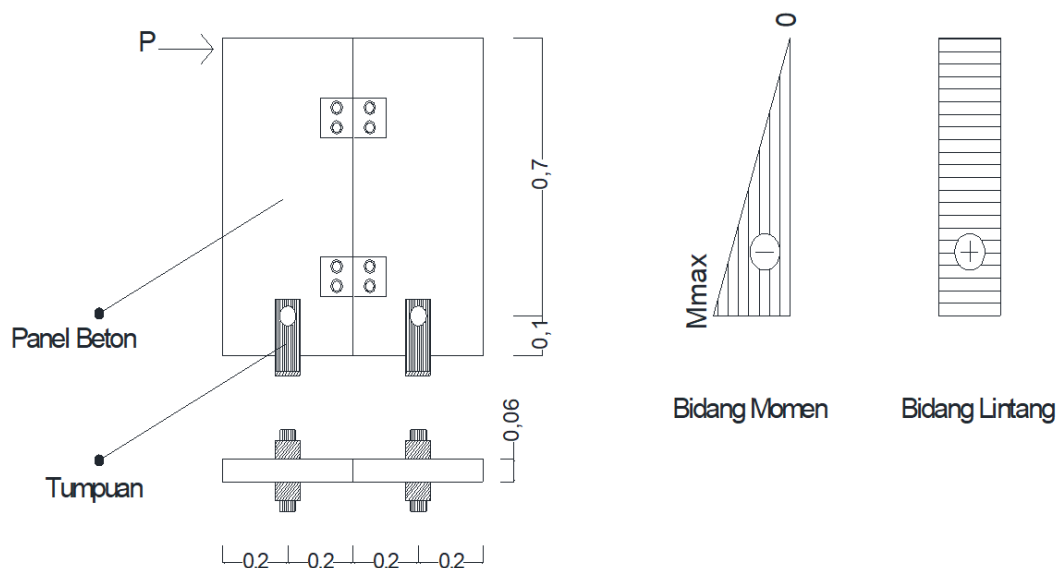


Gambar 4. 3 Letak sambungan baut

4.6 Analisis Perhitungan Beban Maksimum Panel Beton (P) Teoritis Sebagai Kuat Lentur

4.6.1 Pemodelan struktur

Susunan panel ditumpu dengan tumpuan sendi pada tiap panelnya, sehingga ketika disambungkan tumpuan berlaku menjadi jepit.



Gambar 4.4 Model pembebanan struktur

Seperti pada gambar panel ditumpu oleh dua tumpuan yaitu jepit. Pembebanan dilakukan seperti pada Gambar 4.4 diatas.

4.6.2 Analisis beban P maksimum

Data :

- Panjang Struktur (L) = 70 cm
- Tebal Panel (b) = 6 cm
- Tinggi Penampang Panel (h) = (2 x 40 cm) = 80 cm

Perhitungan P_u teoritis panel onyx dengan f'_c aktual :

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'_c}$$

Dengan :

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$f'_c = 18,55 \text{ Mpa}$$

Didapatkan perhitungan modulus hancur beton

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{18,55} \\ &= 2,6703 \text{ Mpa} = 26703 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai f_r juga dapat disama dengankan nilai σ maka, karena nilai berupa pendekatan dengan tegangan, sehingga dapat menentukan momennya sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$M = \frac{\sigma I}{y}$$

$$= \frac{26703 \times \frac{1}{12} \times 0,06 \times 0,8^3}{0,4} = 1709,0061 \text{ kgm}$$

$$M = PL$$

$$P_u = \frac{1709,0061}{0,7} \\ = 2441,4373 \text{ kg}$$

Maka untuk kapasitas teoritis susunan panel beton sebesar $P_u = 2441,4373 \text{ kg}$

4.7 Perencanaan Bendung

Pengujian kuat lentur panel beton dilakukan dengan menggunakan satu beban terpusat di ujung bentang arah horizontal. Susunan panel beton berdimensi total 80 x 80 x 6 cm yang telah berumur 28 hari dipersiapkan dan diletakkan diatas tumpuan jepit. Kemudian dilakukan *setting* alat-alat pengujian.

4.7.1 Data pengukuran dimensi aktual panel beton

Ukuran aktual panel beton agregat normal dan agregat limbah batu onyx diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 10

Dimensi aktual panel beton onyx

Benda Uji	Panjang (cm)		Lebar (cm)		Rata-rata	Tinggi (cm)		Rata-rata	Panjang Total (cm)
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan		Kiri	Kanan		
PO-I Ø8	40,2	40,3	6,3	6	6,15	80,3	80,1	80,2	80,5
PO-II Ø10	40,3	40,3	6,1	6,2	6,15	80,7	80,5	80,6	80,7
PO-III Ø6	40	40,2	6,1	6,4	6,25	80,1	80,5	80,3	80,6
PO-1 Ø8	40,5	40,7	6,4	6,4	6,4	80,5	80,3	80,4	81,4
PO-2 Ø10	40,2	40,2	6,9	6,5	6,7	80,5	80,4	80,45	80,8
PO-3 Ø6	40,5	40,2	6,9	6,3	6,6	80,4	80,5	80,45	81
PO-A Ø8	40	40,5	6,2	6,4	6,3	80	80,2	80,1	80,7

PO-B Ø10	40,2	40	6,5	6,3	6,4	80,5	80,4	80,45	80,2
PO-C Ø6	40,2	40,2	6,1	6,4	6,25	80,4	80,3	80,35	80,5

4.7.2 Kuat lentur panel beton

Kuat lentur merupakan nilai tegangan tarik atau lentur yang didapatkan dari momen lentur pada setiap momen penahan penampang benda uji. Dengan rumus kuat lentur seperti persamaan 2-8, maka disajikan data pada Tabel 4.10, Tabel 4.12, dan Tabel 4.14.

Untuk nilai kuat lentur pasangan panel beton onyx diperlihatkan pada Tabel 4.11, Tabel 4.13, dan Tabel 4.15.

Tabel 4. 11

Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 6 mm

Data	Pasangan Panel Beton Onyx		
	PO 3-Ø6	PO III-Ø6	PO C-Ø6
Pu (kg)	1300	1000	1100
Panjang tak terkekang (m)	0,7	0,7	0,7
Momen lentur (kgm)	910	700	770
Titik berat sumbu y penampang (m)	0,405	0,403	0,4025
Momen inersia (m4)	0,002923	0,002727	0,002717

Tabel 4. 12

Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm

Kode	Beban	Momen	Kuat	Kuat Lentur	Kuat	
Sampel	Maksim	Lentur	Lentur	Pengujian	Lentur	Persentase
	um (kg)	(kgm)	Pengujia	Rata-rata	Teoritis	(%)
			n (MPa)	(MPa)	(MPa)	
PO 3-Ø6	1300	910	1,2609			
PO III-Ø6	1000	700	1,0344	1,1453	2,6703	57,11%
PO C-Ø6	1100	770	1,1407			

Tabel 4. 13

Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 8 mm

Data	Pasangan Panel Beton Onyx		
	PO 1-Ø8	PO I-Ø8	PO A-Ø8
Pu (kg)	1200	1000	1500

Panjang tak terkekang (m)	0,7	0,7	0,7
Momen lentur (kgm)	840	700	1050
Titik berat sumbu y penampang (m)	0,407	0,4025	0,4035
Momen inersia (m4)	0,002877	0,002674	0,002759

Tabel 4. 14

Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm

Kode Sampel	Beban Maksim um (kg)	Momen Lentur (kgm)	Kuat Lentur Pengujian (MPa)	Kuat Lentur Pengujian Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Teoritis (MPa)	Persentase (%)
PO 1-Ø8	1200	840	1,1885			
PO I-Ø8	1000	700	1,0539	1,2593	2,6703	52,84%
PO A-Ø8	1500	1050	1,5355			

Tabel 4. 15

Data untuk perhitungan kuat lentur panel beton onyx sambungan baut diameter 10 mm

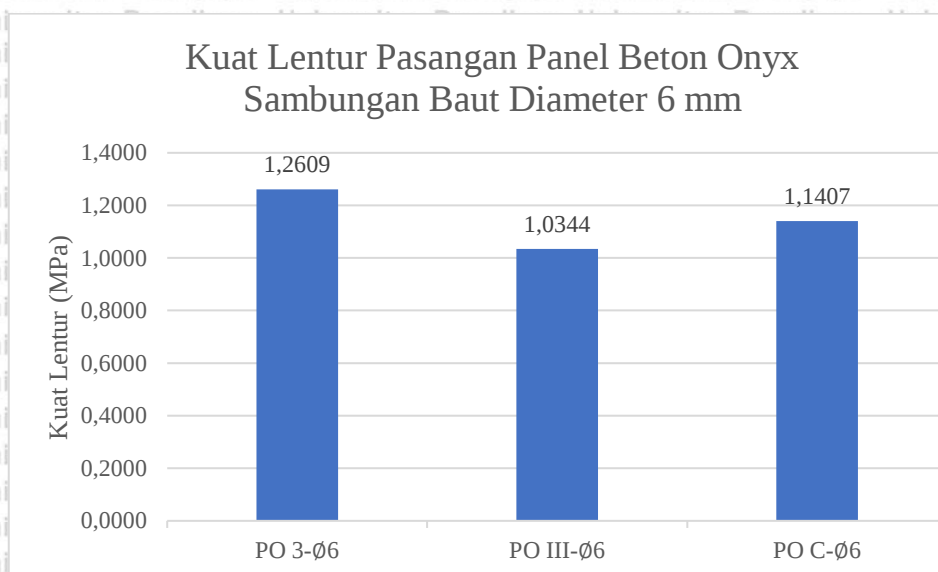
Data	Pasangan Panel Beton Onyx		
	PO 2-Ø10	PO II-Ø10	PO B-Ø10
Pu (kg)	1100	1400	810
Panjang tak terkekang (m)	0,7	0,7	0,7
Momen lentur (kgm)	770	980	567
Titik berat sumbu y penampang (m)	0,404	0,4035	0,401
Momen inersia (m4)	0,002945	0,002693	0,002751

Tabel 4. 16

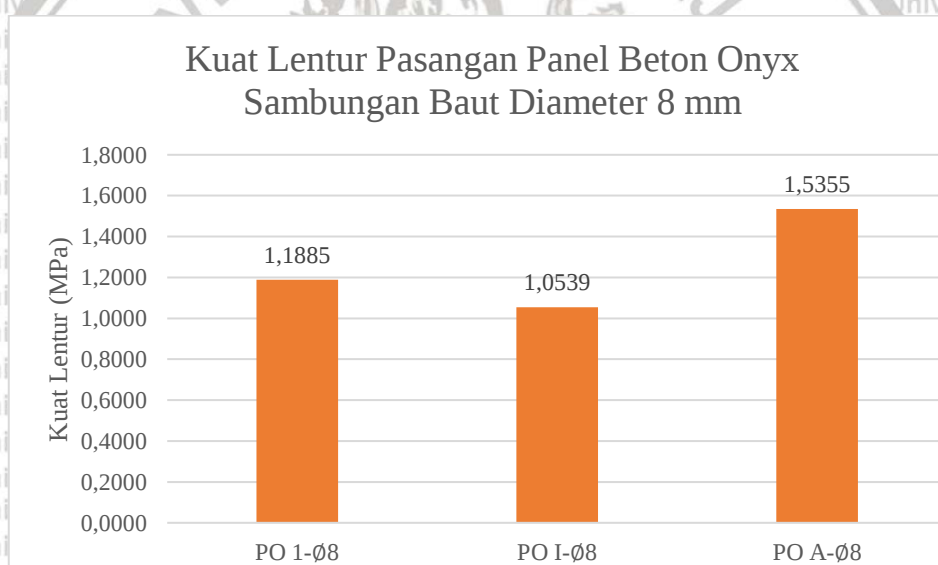
Kuat lentur pasangan panel onyx sambungan baut diameter 10 mm

Kode Sampel	Beban Maksim um (kg)	Momen Lentur (kgm)	Kuat Lentur Pengujian (MPa)	Kuat Lentur Pengujian Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Teoritis (MPa)	Persentase (%)
PO 2-Ø10	1100	770	1,0562			
PO II-Ø10	1400	980	1,4681	1,1169	2,6703	58,17%
PO B-Ø10	810	567	0,8264			

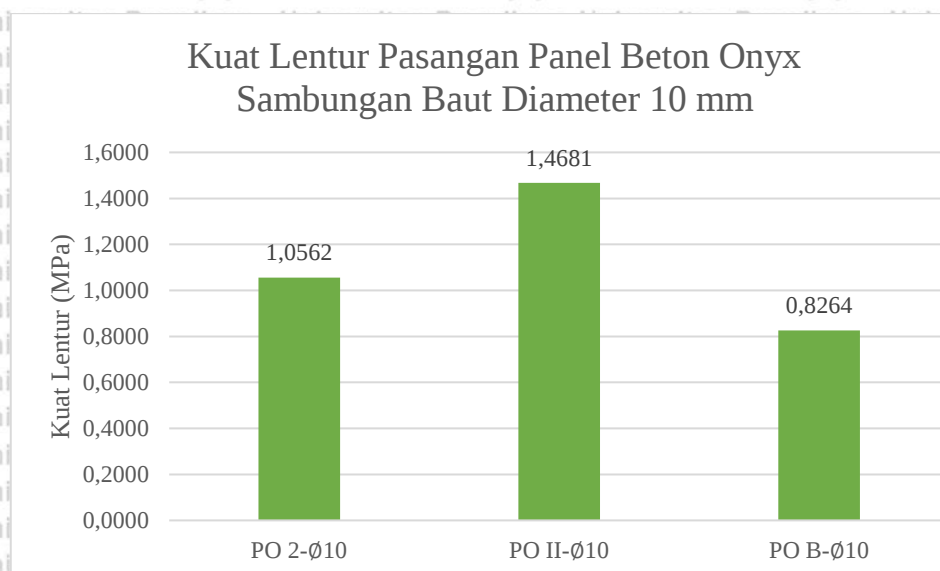
Berdasarkan data pada tabel diatas, berikut gambar hasil diagram batangnya.



Gambar 4. 5 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm



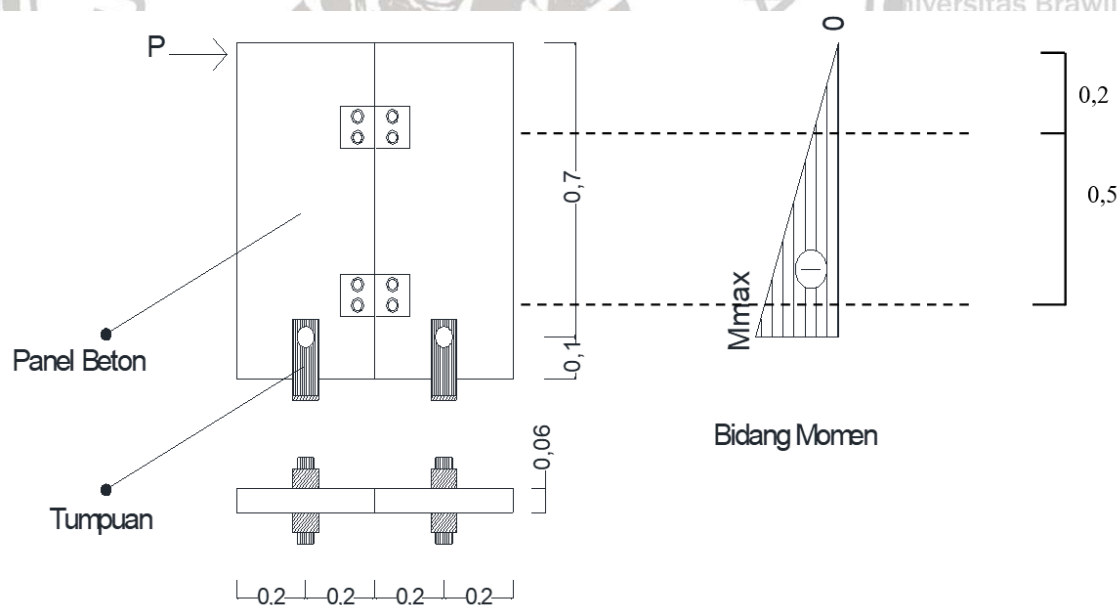
Gambar 4. 6 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm



Gambar 4. 7 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm

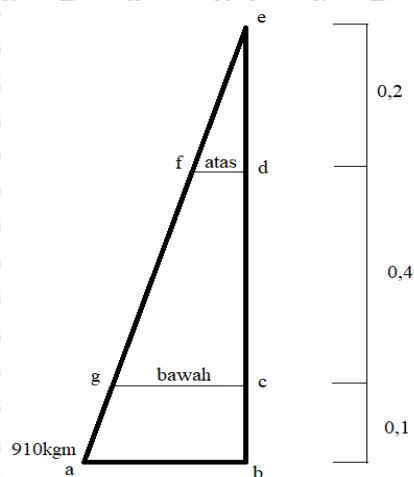
4.7.3 Kuat lentur pada daerah sambungan

Pengujian kuat lentur 2 panel beton yang disambung dengan plat baja di titik yang sudah ditentukan.



Gambar 4. 8 Perletakan sambungan pada panel beton

Dengan diketahuinya kuat lentur pada panel beton, kuat lentur di daerah sambungan dapat di tentukan dengan menggunakan rumus perbandingan segitiga.



Perhitungan:

Menentukan kuat lentur daerah sambungan atas

$$\frac{eb}{ab} = \frac{ed}{df} \text{ sehingga } \frac{0,7}{910} = \frac{0,2}{df}$$

$$0,7df = 0,2 \times 910$$

$$df = \frac{182}{0,7}$$

$$= 260 \text{ kgm}$$

Tabel 4. 17

Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm

Kode Sampel	Momen Lentur (kgm)	Momen Lentur Daerah Sambungan (kgm)		Momen Lentur Daerah Sambungan Rata-Rata (kgm)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 3- Ø6	910	260	780		
PO III- Ø6	700	200	600	226,667	680
PO C- Ø6	770	220	660		

Tabel 4. 18

Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm

Kode Sampel	Momen Lentur (kgm)	Momen Lentur Daerah Sambungan (kgm)		Momen Lentur Daerah Sambungan Rata-Rata (kgm)	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 1- Ø8	840	240	720	246,667	740
PO I- Ø8	700	200	600		

PO A- Ø8 1050 300 900

Tabel 4. 19

Kuat lentur daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm

Kode	Momen	Momen Lentur Daerah		Momen Lentur Daerah	
Sampel	Lentur	Sambungan (kgm)		Sambungan Rata-Rata (kgm)	
	(kgm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 2- Ø10	770	220	660		
PO II- Ø10	980	280	840	220,667	662
PO B- Ø10	567	162	486		

4.7.4 Hubungan kuat lentur dan lendutan di daerah sambungan

Dari momen lentur yang sudah di dapat, nilai beban di daerah sambungan dan lendutan di daerah sambungan dapat ditemukan.

Perhitungan Beban (P) di daerah sambungan atas pada panel agregat batu onyx PO 3- Ø6.

$$P = \frac{M}{L}$$

$$= \frac{260}{0,5} = 520 \text{ Kg}$$

Perhitungan Lendutan (δ) di daerah sambungan atas pada panel agregat batu onyx

PO 3- Ø6.

$$\delta = \frac{Pa^2}{6EI} \times (3L - a)$$

$$= \frac{520 \times 0,5^2}{6(2,6703 \times 10^4 + 28,857 \times 10^6)0,001715} \times (3(0,7) - 0,5)$$

$$= 0,0007 \text{ m}$$

Tabel 4. 20

Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 6 mm

Kode Sampel	Momen Lentur Daerah Sambungan (kgm)		Beban (Kg)		Lendutan (m)		Rata-Rata Beban (kg)		Rata-Rata Lendutan (m)	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 3-6	260	780	520	7800	0,0007	0,0005				
PO III-6	200	600	400	6000	0,0005	0,0004	453,33333	6800	0,00061009	0,00045757
PO C-6	220	660	440	6600	0,0006	0,0004				

Tabel 4. 21

Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 8 mm

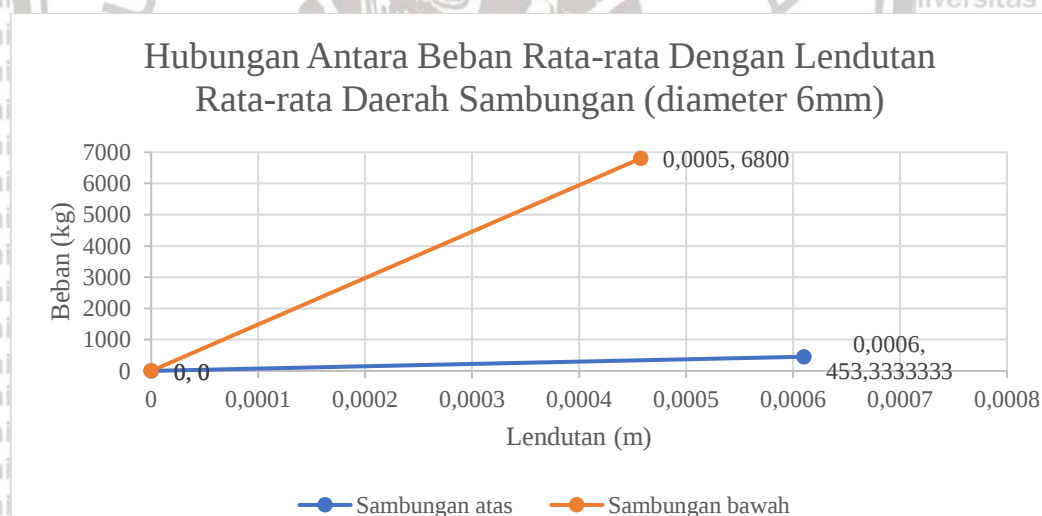
Kode Sampel	Momen Lentur Daerah Sambungan (kgm)		Beban (Kg)		Lendutan (m)		Rata-Rata Beban (kg)		Rata-Rata Lendutan (m)	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 1-8	240	720	480	7200	0,0006	0,0005	493,33333	7400	0,00066392	0,00049794
PO I-8	200	600	400	6000	0,0005	0,0004				
PO A-8	300	900	600	9000	0,0008	0,0006				

Tabel 4. 22

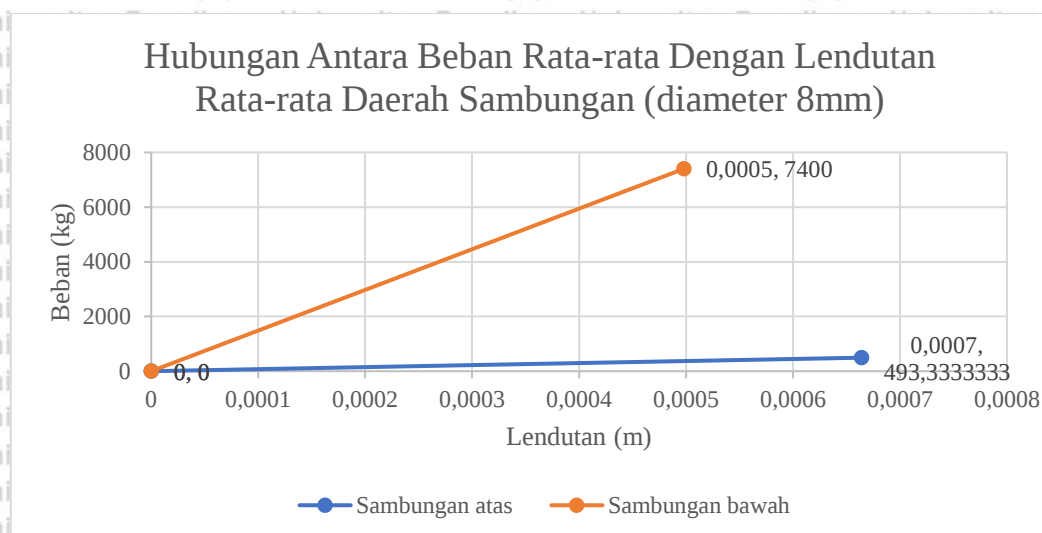
Kuat lentur dan lendutan daerah sambungan pasangan panel onyx sambungan baut diameter 10 mm

Kode Sampel	Momen Lentur Daerah Sambungan (kgm)		Beban (Kg)		Lendutan (m)		Rata-Rata Beban (kg)		Rata-Rata Lendutan (m)	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
PO 2-10	220	660	440	6600	0,0006	0,0004	441,33333	6620	0,00059394	0,00044546
PO II-10	280	840	560	8400	0,0008	0,0006				
PO B-10	162	486	324	4860	0,0004	0,0003				

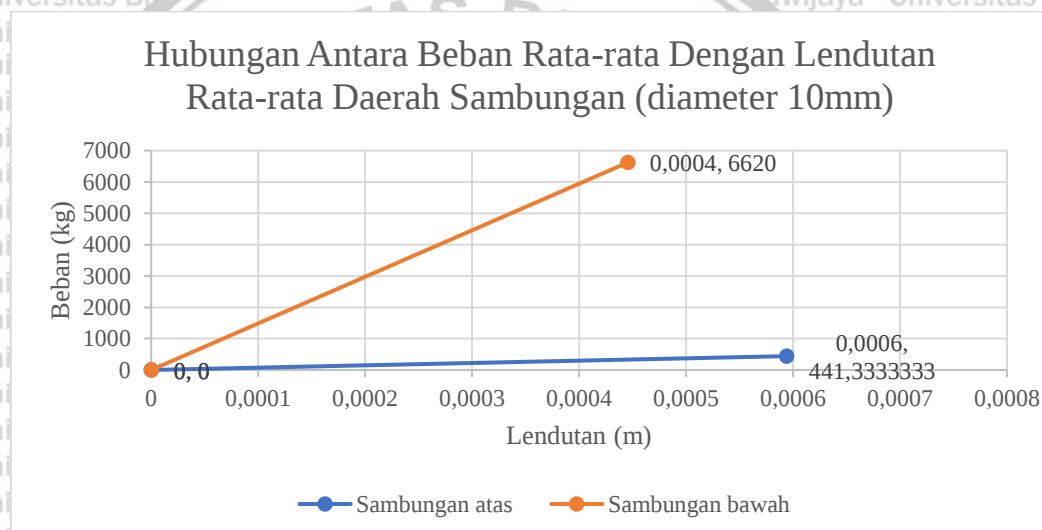
Berdasarkan data pada tabel diatas, berikut grafik hubungan antara beban (momen) dengan lendutan didaerah sambungan.



Gambar 4. 9 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 6 mm



Gambar 4. 10 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 8 mm



Gambar 4. 11 Grafik kuat lentur pasangan panel sambungan baut diameter 10 mm

4.7.5 Grafik hubungan beban dari Load Cell dengan lendutan dari LVDT

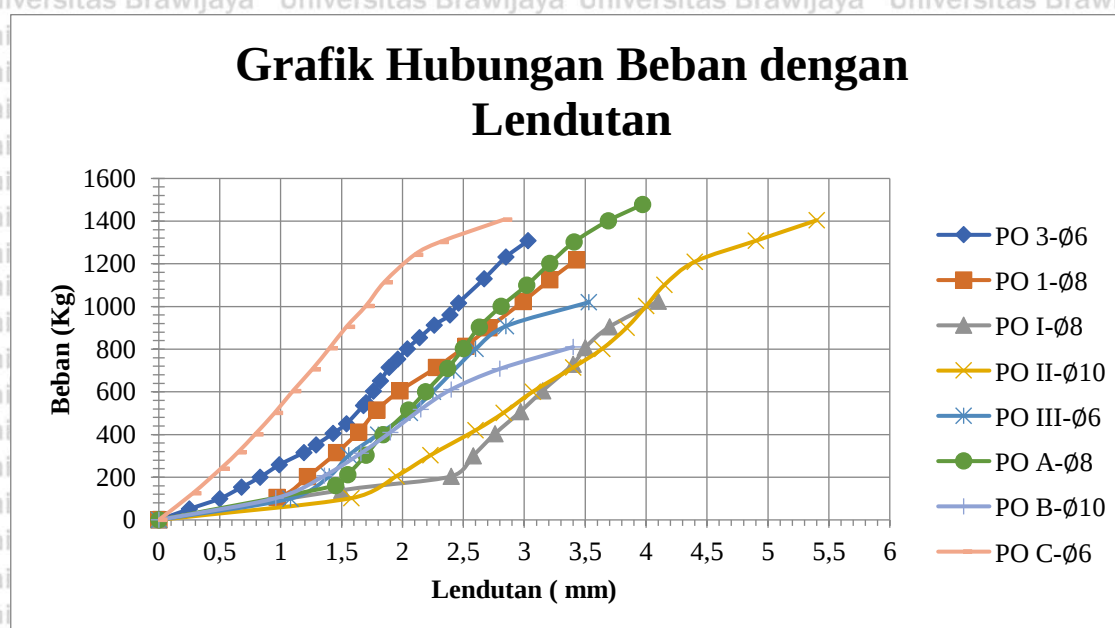
Data beban maksimal dengan lendutan yang terjadi akibat beban maksimal secara aktual.

Tabel 4. 23

Data beban maksimal

No.	Diameter Baut (mm)	Waktu pengecoran	Beban (Kg)	Lendutan (mm)
1	PO 1-Ø8	01/10/2020	1219	3,43
2	PO 3-Ø6	01/10/2020	1308	3,03

3	PO I-Ø8	28/09/2020	1025	4,1
4	PO II-Ø10	28/09/2020	1404	5,4
5	PO III-Ø6	28/09/2020	1020	3,53
6	PO A-Ø8	24/09/2020	1478	3,97
7	PO B-Ø10	24/09/2020	810	3,4
8	PO C-Ø6	24/09/2020	1407	2,83

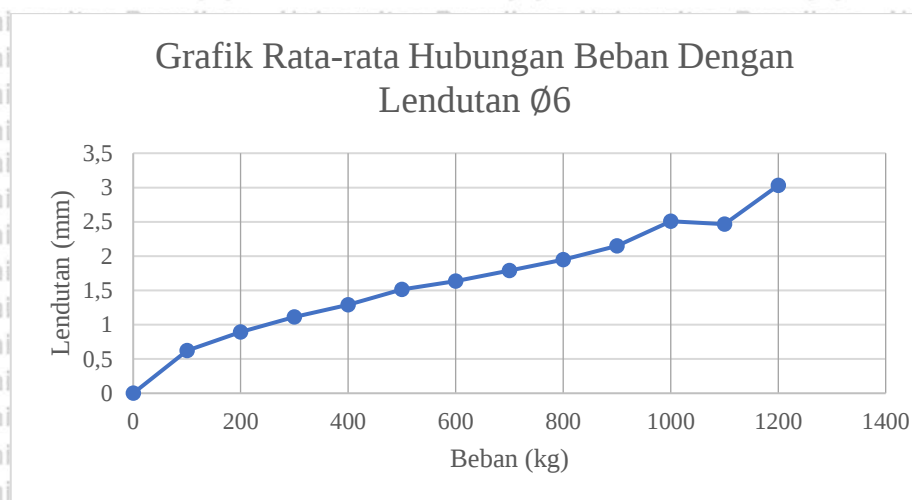


Gambar 4. 12 Grafik hubungan beban dengan lendutan.

Tabel 4. 24

Rata-rata Beban dan lendutan pada Ø6

No.	Diameter Baut (mm)	Waktu pengecoran	Beban (Kg)	Beban Maks Rata-rata (kg)	Lendutan (mm)	Lendutan Rata-rata (mm)
1	PO 3-Ø6	01/10/2020	1308	1245	3,03	3,13
2	PO III-Ø6	28/09/2020	1020		3,53	
3	PO C-Ø6	24/09/2020	1407		2,83	

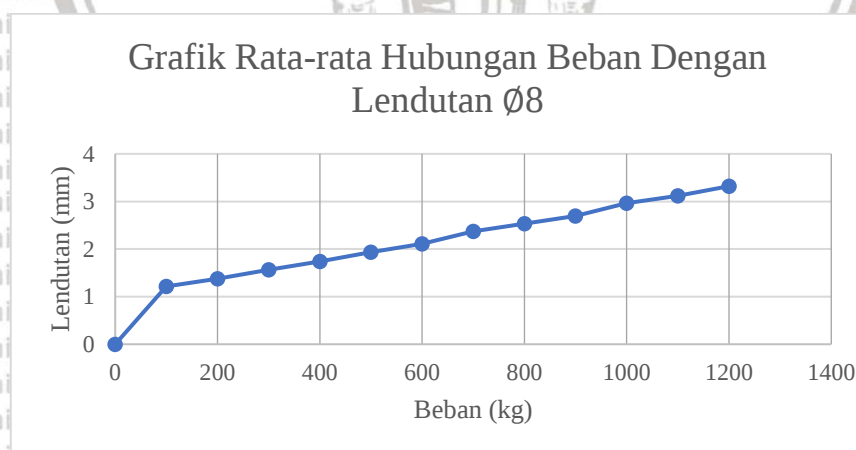


Gambar 4. 13 Grafik rata-rata hubungan beban dengan lendutan Ø6.

Tabel 4. 25

Rata-rata Beban dan lendutan pada Ø8

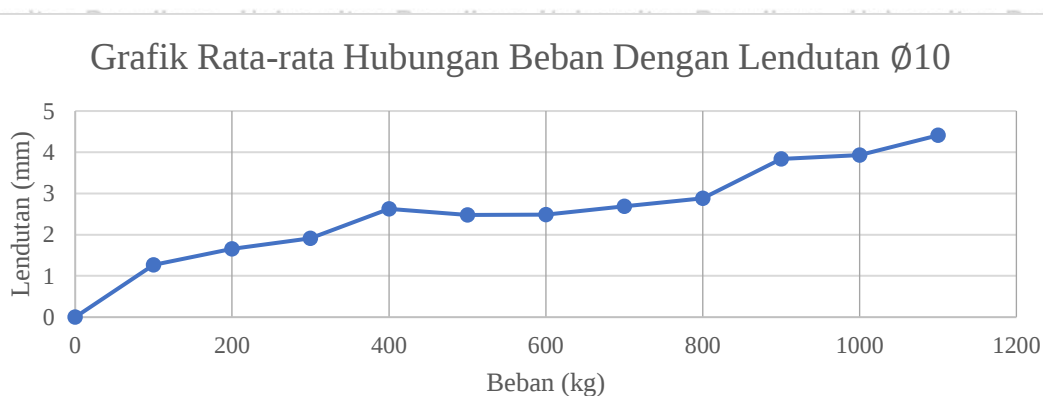
No.	Diameter Baut (mm)	Waktu pengecoran	Beban (Kg)	Beban Maks Rata-rata (kg)	Lendutan (mm)	Lendutan Rata-rata (mm)
1	PO 1-Ø8	01/10/2020	1219	1240,667	3,43	3,833
2	PO A-Ø8	24/09/2020	1478		3,97	
3	PO I-Ø8	28/09/2020	1025		4,1	



Gambar 4. 14 Grafik rata-rata hubungan beban dengan lendutan Ø8.

Tabel 4. 26
Rata-rata Beban dan lendutan pada $\phi 10$

No.	Diameter Baut (mm)	Waktu pengecoran	Beban (Kg)	Beban Maks Rata-rata (kg)	Lendutan (mm)	Lendutan Rata-rata (mm)
1	PO II- $\phi 10$	28/09/2020	1404	1107	5,4	4,4
2	PO B- $\phi 10$	24/09/2020	810		3,4	



Gambar 4. 15 Grafik Rata-rata hubungan beban $\phi 10$



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan mengenai kuat lentur pada pasangan panel beton *onyx* dengan sambungan baut berdiameter 6 mm, 8 mm, dan 10 mm adalah sebagai berikut :

1. Semakin besar diameter baut yang digunakan untuk sambungan pada pasangan panel beton *onyx*, kuat lentur yang dihasilkan juga semakin besar. Pada susunan panel *onyx* dengan sambungan baut diameter 6 mm didapatkan kuat lentur sebesar 1,1453 MPa, untuk susunan panel dengan sambungan baut diameter 8 mm menghasilkan kuat lentur sebesar 1,2593MPa, dan pada diameter 10 mm mengalami penurunan nilai kuat lentur dengan nilai sebesar 1,1169 MPa.
2. Semakin besar jarak sambungan dengan tumpuan pada pasangan panel beton *onyx*, kuat lentur yang dihasilkan semakin kecil. Seperti di susunan panel *onyx* dengan sambungan baut diameter 6 mm (PO 3- Ø6) sambungan atas menghasilkan kuat lentur sebesar 260 Kgm, dan sambungan bawah menghasilkan kuat lentur sebesar 780 Kgm.
3. Dari perhitungan lendutan, lendutan maksimal pada susunan panel beton didapatkan rata-rata pada sambungan atas sebesar 0,000622652 m dan sambungan bawah sebesar 0,000466989 m.
4. Setelah perhitungan perbandingan tahanan nominal di daerah sambungan, disimpulkan sambungan belum mengalami keruntuhan saat beton telah mengalami keruntuhan desak pada daerah tumpuan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh pembebanan terhadap kuat lentur pada susunan panel beton agregat kasar limbah batu *onyx* menggunakan sambungan baut, berikut saran bagi pembaca dan peneliti selanjutnya.

Dibutuhkan ketelitian dalam melaksanakan pembuatan benda uji serta kehati-hatian yang tinggi pada saat pelaksanaan pengujian agar mencapai hasil yang maksimal.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dan diaplikasikan menggunakan jenis sambungan yang lain agar hasilnya dapat dibandingkan dengan susunan panel beton menggunakan sambungan baut.

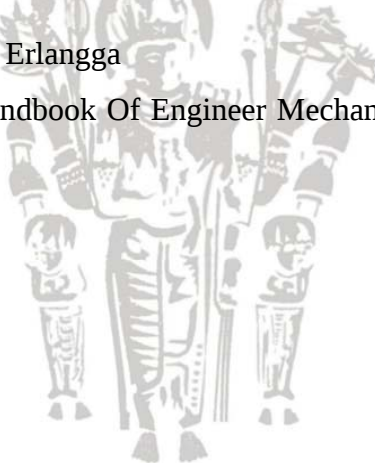
Tidak ada penelitian yang gagal, maka untuk selanjutnya sebaiknya yang diteliti diperlemah dan yang tidak diteliti harus diperkuat.



DAFTAR PUSTAKA

- 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.30.
- Arel, Hasan Sahan. 2016. *Recyclability of waste marble in concrete production*. Faculty of architecture, Izmir University, Turkey: Journal El Sevier
- Dzakwan, Achmad Yusar., Wisnumurti., Edhi Wahyuni S. 2018. *Pengaruh limbah batu onyx pengganti agregat kasar beton terhadap lendutan (Defleksi) balok beton bertulang* : Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil.
- Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2011. *Use of waste marble aggregates in concrete*. Constr. Build. Mater.
- Mahpudin, Hafid. 2016. *Tinjauan kuat tekan dan kuat lentur dinding panel dari beton ringan dengan perkuatan diagonal tulangan bamboo* : Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil.
- Marble Institute of America. 2016. *Marble and Onyx*. Ohio. An except from the dimension stone design manual version VIII.
- McCromac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Nasional, Badan Standarisasi. 1996. *SNI 03-4154-1996 Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung*, Bandung.
- Nasional, Badan Standarisasi. 2000. *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN, Jakarta.
- Nasional, Badan Standarisasi. 2002. *SNI 07-2052-2002 Baja Tulangan Beton*.
- Nasional, Badan Standarisasi. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. BSN, Bandung.
- Nasional, Badan Standarisasi. 2004. *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozolan*. BSN, Jakarta.
- Nasional, Badan Standarisasi. 2013. *SNI 03-2847-2013 Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Nasution, Amrinsyah. 2009. *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Bandung : Penerbit ITB
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Penerbit PT. Refika Aditama

- Segui, William T. 2007. *Steel Design*. University of Memphis : Penerbit Chris Carson
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Setyowati, E.W., Soehardjono, A., dan Wisnumurti. 2017. *Concrete with onyx waste as aesthetically valued structural concrete*. AIP Conference Proceedings 1887.
- Suprayitno, Eka Fajar. 2018. *Pengaruh Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*: Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil.
- 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).
- Setyowati, Edhi Wahjuni. 2020. *Beton Modifikasi Limbah Batu Onix*. Malang : Penerbit Media Nusa Creative
- Setiawan, Agus. 2002. *Perancangan Struktur Baja Dengan Metode LRFD sesuai SNI 03-1729-2002*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- McGraw-hill. 1962. *Handbook Of Engineer Mechanics*. Beam Deflection Formula. New York.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisa Gradasi Agregat Halus

Tabel L.1. 1

Gradasi agregat halus

Lubang Saringan		Pasir			
no	mm	Tertinggal	gram	% Tertinggal	% Kumulatif Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	75	7,610	7,610	92,390
8	2,38	88,50	8,980	16,591	83,409
16	1,19	246	24,962	41,553	58,447
20	0,59	325	32,978	74,531	25,469
50	0,297	167	16,946	91,476	8,524
100	0,149	40	4,059	95,535	4,465
200	0,075	36	3,653	99,188	0,812
Pan		8	0,812	100,000	0,000
Σ		985,5	100	327,296	

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahanayakan no. } \frac{3}{8} \text{ hingga sampai no. } 100}{100}$$

$$= \frac{327,296}{100} = 3,273$$

Maka ditentukan dari grafik termasuk dalam zona = 1

Lampiran 2 Analisa Gradasi Agregat Kasar

Tabel L.2. 1

Gradasi agregat kasar

Lubang Saringan		ONYX			
no	mm	Tertinggal		% Kumulatif	
		gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2.5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
0.75"	19,1	100,00	1,00	1,00	99,00
0,5	12,7	300,00	3,00	4,00	96,00
0.375"	9,5	5200,00	52,00	56,00	44,00
4	4,76	4400,00	44,00	100,00	0,00
8	2,38	0,00	0,00	100,00	-
16	1,19	-	-	100,00	-
20	0,85	-	-	100,00	-
50	0,297	-	-	100,00	-
100	0,149	-	-	100,00	-
200	0,075	-	-	100,00	-
Pan		-	-	-	-
Σ =		10000	100,0	761,00	

Modulus halus pasir = $\frac{\Sigma\% \text{ yang tertahan ayakan no. } \frac{3}{4} \text{ hingga sampai no. } \frac{3}{8}}{100}$

$$= \frac{761}{100} = 7,61$$

Maka ditentukan dari grafik, termasuk dalam zona = 3

Lampiran 3 Kadar air Agregat

- Kadar Air Onyx

Tabel L.3. 1

Kadar air agregat kasar onyx

Nomor Talam	Satuan	A	B
Berat talam + Contoh basah	(gr)	32	28,5
Berat talam + Contoh kering	(gr)	31,5	28
Berat Air	(gr)	0,5	0,5
Berat talam	(gr)	6	5,5
Berat contoh kering	(gr)	25,5	22,5
Kadar air	(%)	0,0196	0,0222
Kadar air rata-rata	(%)	0,0209	

- Kadar Air Pasir

Tabel L.3. 2

Kadar air agregat halus pasir

Nomor Talam	Satuan	A	B
Berat talam + Contoh basah	(gr)	45,5	40
Berat talam + Contoh kering	(gr)	43,5	38,5
Berat Air	(gr)	2	1,5
Berat talam	(gr)	3,5	4
Berat contoh kering	(gr)	40	34,5
Kadar air	(%)	0,0500	0,0435
Kadar air rata-rata	(%)	0,0467	

Lampiran 4 Berat Isi

- Berat isi onyx

Tabel L.4. 1

Berat isi agregat kasar onyx

PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT KASAR ONYX

1	Berat takaran	(kg)	1,65	1,65
2	Berat takaran + air	(kg)	4,8	4,8
3	Berat air = (2) - (1)	(kg)	3,15	3,15
4	Volume air = (3) / (1)	(cc)	1,909	1,909

TAHAPAN

RODDED SHOVELED

5	Berat takaran	(kg)	1,65	1,65
6	Berat takaran + benda uji	(kg)	6,30	5,75

7	Berat benda uji = (6) - (5)	(kg)	4,65	4,1
8	Berat isi agregat kasar <i>onyx</i> = (7) / (4)	(kg/cc)	2,436	2,148
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(kg/cc)	2,2917	

- Berat isi pasir

Tabel L.4. 2

Berat isi agregat halus pasir

PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT HALUS

1	Berat takaran	(kg)	1,65	1,65
2	Berat takaran + air	(kg)	4,8	4,8
3	Berat air = (2) - (1)	(kg)	3,15	3,15
4	Volume air = (3) / (1)	(cc)	1,909	1,909
TAHAPAN			RODDED	SHOVELED
5	Berat takaran	(kg)	1,65	1,65
6	Berat takaran + benda uji	(kg)	5,90	5,15
7	Berat benda uji = (6) - (5)	(kg)	4,25	3,5
8	Berat isi agregat halus = (7) / (4)	(kg/cc)	2,226	1,833
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(kg/cc)	2,0298	

Lampiran 5 Pengujian Pasangan Panel

- PO 3-Ø6

Tanggal pengecoran : 01/10/2020

Tanggal pengujian : 23/12/2020

Tabel L.5. 1

Data hasil pengujian psangan panel PO 3-Ø6

BEBAN (Kg)	LVDT	Pola Retak				Keterangan retak	LVDT
	Jarak	Depan		Belakang			Jarak
	20 cm	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri		5 cm
	dari						dari
	atas						atas
	(mm)						(mm)
0	0						0
50	-0,25						-0,63

100	-0,5				-1,23
150	-0,68				-1,69
200	-0,83				-2,05
250	-0,99				-2,47
300	-1,19				-2,97
350	-1,29				-3,22
400	-1,43				-3,58
450	-1,54				-3,85
500	-1,68				-4,18
550	-1,7				-4,24
600	-1,76				-4,41
650	-1,82				-4,55
700	-1,89				-4,73
750	-1,96				-4,9
800	-2,04				-5,09
850	-2,14				-5,34
900	-2,26				-5,54
950	-2,39				-5,96
1000	-2,46				-6,13
1100	-2,67				-6,67
1200	-2,85				-7,11
1300	-3,03	V	V	Retak pertama terlihat dan panel runtuh	-7,56

■ PO 1- Ø8

Tanggal pengecoran : 01/10/2020

Tanggal pengujian : 23/12/2020

Tabel L.5. 2

Data hasil pengujian psangan panel PO 1-Ø8

BEBAN (Kg)	LVDT	Pola Retak				Keterangan retak	LVDT
	Jarak	Depan	Belakang				Jarak
	20 cm	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri		5 cm
	dari						dari

	atas (mm)		atas (mm)
0	0		0
100	-0,97		-2,4
200	-1,22		-3,07
300	-1,46		-3,68
400	-1,64		-4,11
500	-1,79		-4,48
600	-1,98		-4,93
700	-2,28		-5,64
800	-2,52		-6,2
900	-2,71		-6,66
1000	-2,99		-7,33
1100	-3,21		-7,85
1200	-3,43	v	-8,38
		Retak pertama terlihat dan panel runtuh	

▪ PO I - Ø8

Tanggal pengecoran : 28/09/2020

Tanggal pengujian : 28/12/2020

Tabel L.5. 3

Data hasil pengujian psangan panel PO I-Ø8

BEBAN (Kg)	LVDT Jarak 20 cm dari atas (mm)	Pola Retak				Keterangan retak	LVDT Jarak 5 cm dari atas (mm)
		Depan		Belakang			
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri		
0	-1,23						0
100	-2,46						-4,15
200	-2,58						-4,46
300	-2,76						-4,9
400	-2,97						-5,43

500	-3,2				-5,98
600	-3,39				-6,46
700	-3,69				-7,29
800	-3,8				-7,58
900	-3,98				-8,03
1000	-4,32	V	V	Retak pertama terlihat dan panel runtuh	-8,97

■ PO II - Ø10

Tanggal pengecoran : 28/09/2020

Tanggal pengujian : 28/12/2020

Tabel L.5. 4

Data hasil pengujian psangan panel PO II-Ø10

BEBAN (Kg)	LVDT Jarak 20 cm dari atas (mm)	Pola Retak				Keterangan retak	LVDT Jarak 5 cm dari atas (mm)
		Depan		Belakang			
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri		
0	0						0
100	-1,58						-4,24
200	-1,95						-5,25
300	-2,23						-5,93
400	-2,6						-6,81
500	-2,83						-7,34
600	-3,07						-7,94
700	-3,4						-8,5
800	-3,64						-9,44
900	-3,84						-9,69
1000	-3,93						-9,84
1100	-4,41						-10,92
1200	-4,44						-11,1

1300 -4,63 -11,56

1400 -4,76 Retak pertama -12,01

terlihat dan panel

runtuh

■ PO III - Ø6

Tanggal pengecoran : 28/12/2020

Tanggal pengujian : 28/09/2020

Tabel L.5. 5

Data hasil pengujian psangan panel PO III-Ø6

BEBAN (Kg)	LVDT	Pola Retak				Keterangan retak	LVDT
		Depan		Belakang			
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri		
	Jarak 20 cm dari atas (mm)						Jarak 5 cm dari atas (mm)
0	0						0
100	-1,08						-2,91
200	-1,34						-3,66
300	-1,5						-3,98
400	-1,61						-4,38
500	-1,87						-4,87
600	-2,06						-5,33
700	-2,23						-5,75
800	-2,41						-6,16
900	-2,66						-6,83
1000	-3,34		V		V	Retak pertama terlihat dan panel runtuh	-8,58

Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian



Lampiran L 6. 1 Pengujian kadar air agregat pasir



Lampiran L 6. 2 Benda uji silinder beton



Lampiran L 6. 3 Pengujian kuat tekan silinder beton



Lampiran L 6. 4 Susunan panel beton onyx setelah dilakukan pengujian