

ANALISIS REGANGAN DAN POLA RETAK YANG DIAKIBATKAN BEBAN GESER PADA BETON RINGAN BERAGREGAT KASAR BATU APUNG YANG DIBERI LAPISAN CAT KERAMIK

Valentino Leonard Yudika Putra¹, Indradi Wijatmiko², Christin Remayanti²

¹Mahasiswa / Program Sarjana / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

²Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur
Korespondensi : valentinoleonard@gmail.com

ABSTRAK

Beton ringan merupakan salah satu jenis beton yang sedang dikembangkan pada saat ini. Beton ini memiliki beberapa keunggulan antara lain mulai dari bobot sendiri beton tersebut dan efisiensi penggunaan bahan yang dinilai lebih ekonomis dibandingkan beton konvensional. Komposisi dari beton ringan yang lazim digunakan tidak berbeda jauh dengan beton konvensional hanya saja beberapa komponen agregatnya diganti dengan bahan yang lebih ringan. Salah satu bahan yang biasa digunakan adalah batu apung atau biasa disebut pumice. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui regangan dan pola retak beton ringan yang menggunakan batu apung sebagai pengganti agregat kasar yang diakibatkan oleh beban geser. Untuk mengurangi kemampuan penyerapan air batu apung tersebut, batu apung diberi lapisan cat keramik. Benda uji yang digunakan adalah balok beton sebanyak 12 balok yang terdiri dari 6 balok beton normal dan 6 balok beton ringan. Kedua tipe beton tersebut diuji dengan diberi beban sampai mencapai keruntuhan. Ada dua jenis beban yang akan digunakan, yaitu 1 beban terpusat dan 2 beban terpusat.

Kedua beton tersebut direncanakan dengan dimensi beton dan mix design yang sama dengan perbandingan volume 1 : 2 : 3 (semen : pasir : agregat kasar). Dari hasil uji tekan beton silinder, didapatkan mutu beton normal sebesar 23,17 MPa dan beton ringan sebesar 9,67 MPa. Kemudian pada pengujian selanjutnya, didapatkan bahwa benda uji dengan agregat batu apung yang dilapisi cat keramik mengalami regangan dan pola retak lebih besar dibandingkan benda uji beton normal.

Kata kunci: regangan, pola retak, batu apung, mutu beton, beton ringan, beton normal.

ABSTRACT

Lightweight concrete is a kind of concrete which developed nowadays. This concrete has some advantages such as lighter and more efficient costs compared with the conventional one. The composition of lightweight concrete is usually the same as the conventional one. The difference is on its coarse aggregate which replaced with lighter one such as pumice.

This study research the strain and crack pattern in lightweight concrete that used pumice as its coarse aggregate. To reduce pumice's water absorbing ability, the surface of pumice is coated by ceramic paint. The test object of this research are 12 beams of concrete consist of 6 normal concrete and 6 lightweight concrete. These beams will be loaded until failure. There are two varieties of loading, with 1-point loading on the middle of beams and 2-point loading.

Those two types of concretes were planned with the same dimension and mix design, which has 1 : 2 : 3 (cement : sand : coarse aggregate). The result of concrete test cylinders shows that yield strength of normal concrete is 23.17 MPa and the lightweight one is 9.67 MPa. The following test shows that the lightweight concrete encounter higher strain and more cracks than the normal one.

Keyword: strain, crack pattern, pumice, yield strength, lightweight concrete, concrete.

1. PENDAHULUAN

Konstruksi merupakan suatu kegiatan membangun sarana dan prasarana. Secara singkat, konstruksi adalah sebuah wujud fisik sebuah bangunan yang terbagi menjadi beberapa bagian struktur utama. Ada beberapa material utama yang digunakan dalam membangun sebuah konstruksi, salah satu bagian yang terpenting adalah beton. Beton adalah sebuah campuran yang terdiri dari air, semen, beserta agregat halus dan agregat kasar. Setelah dicampurkan sehingga berbentuk seperti pasta, campuran tersebut dimasukkan dalam suatu wadah yang biasa disebut bekisting. Setelah dimasukkan bekisting, beton ditunggu sampai agak mengering selama kurang lebih 7 hari untuk dilepaskan dari bekistingnya. Beton siap digunakan jika umurnya sudah mencapai kurang lebih 28 hari.

Seiring berjalannya waktu, beberapa inovasi dan riset telah dilakukan untuk menemukan efisiensi dari segi teknis, waktu dan biaya. Beberapa teknologi beton yang telah ditemukan antara lain beton berkekuatan tinggi, beton ringan dan beton komposit.

Beton ringan merupakan salah satu jenis beton yang dikembangkan saat ini. Penggunaan bahan ini dinilai lebih efisien dari segi pengerjaan dan lebih dinilai lebih ekonomis. Beton ringan dengan menggunakan batu apung sebagai agregat mempunyai nilai berat jenis yang lebih rendah. Karena itulah penggunaan batu apung sebagai komposisi agregat pada beton ringan sangat cocok digunakan untuk mengurangi berat beton itu sendiri. Penggunaan batu apung sebagai agregat beton ringan menguntungkan karena mengurangi beban mati tetapi juga bisa mengurangi kekuatan beton (Kilic, 2009).

Beton memiliki kekuatan yang besar untuk menahan gaya tekan, namun tidak kuat jika menahan beban tarik. Maka dari itu, diperlukan tulangan baja yang berfungsi untuk menahan beban tarik dan beban geser yang terjadi pada struktur beton. Beton yang dipadukan dengan tulangan baja disebut beton bertulang.

Gaya geser yang terjadi pada struktur dapat menyebabkan perubahan bentuk atau yang biasa disebut deformasi. Salah satu jenis deformasi yang dapat berakibat fatal

pada keruntuhan struktur adalah regangan. Regangan dapat dicegah dengan mengenali beberapa tanda yang terjadi, diantaranya adalah retakan. Maka dari itu penting untuk diperhatikan pola retak yang terjadi pada struktur.

Tujuan dari penelitian ini adalah mencapai hasil:

1. Mengetahui besar regangan pada tulangan geser.
2. Mengetahui pola retak yang diakibatkan beban geser pada beton dengan agregat batu apung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Ringan

Beton identik dengan kekuatan mekanis yang baik, namun memiliki kelemahan yaitu bobot sendirinya yang relatif berat. Beton ringan sudah digunakan sejak jaman dahulu kala, hal ini ditujukan untuk mengurangi bobot beton itu sendiri dengan tetap menjaga kekuatan mekanis yang dimiliki beton itu sendiri.

Dalam pembuatan beton ringan, bahan yang digunakan untuk mengurangi berat beton adalah substitusi agregat. Agregat yang digunakan biasanya berasal dari batuan beku seperti *scoria* dan batu apung. Beton ringan memiliki beberapa persyaratan yang tertera pada tabel dibawah ini.

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat Jenis	1,0-1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum:	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9-14
5	Nilai 10% kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16-18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

CATATAN :
Nilai keremukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 %

Tabel 1. Persyaratan Sifat Fisis Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural

2.2 Batu Apung

Batu apung terbentuk ketika lava cair yang kaya SiO₂ dari letusan gunung berapi

mendingin. Densitas dari batu apung yang rendah disebabkan adanya gelembung gas di lava cair yang terjebak saat pendinginan terjadi. Rongga-rongganya sangat kecil dan saling terhubung (Chandra, 2002).

Rentang kekuatan batu apung didasarkan dari sangat lemah dan berpori sampai kuat dan kurang berpori. Daya serap air dari batu apung berbeda – beda diukur berdasarkan ukuran batu tersebut dan tingkat porositasnya. Batu apung sering digunakan dalam pembuatan beton ringan dikarenakan densitasnya yang rendah dan kekuatannya yang cukup tinggi. Beberapa sifat fisik batu apung akan ditunjukkan dalam tabel berikut.

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480-960 kg/cm ³
Peresapan air	16,67%
Berat Jenis	0,8 gr/cm ³
Hantaran Suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Konduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

Tabel 2. Sifat Fisik Batu Apung

2.3 Pelapisan Agregat

Pelapisan agregat adalah metode yang digunakan untuk tujuan tertentu. Pelapisan agregat biasanya menggunakan cat, tanah liat dan debu atau lumpur. Ada beberapa teknik dalam pelapisan yaitu dengan melapisi semua permukaan agregat atau melapisi sebagian agregat tergantung dari tujuannya (Munoz, 2005). Penelitian tentang pelapisan agregat menggunakan bahan polimer juga telah dilakukan dengan tujuan

mengurangi penyerapan air pada batu apung sebagai agregat kasar. Dalam penelitian yang dilakukan Ozlem Salli Bideci, Alper Bideci, Ali Haydar G., Sabit Oymael, Hasan Yildirim pada tahun 2013, agregat batu apung dilapisi oleh cat jenis polimer. Dengan menggunakan beberapa jenis cat polimer sebagai variabel bebas. Hasilnya batu apung dengan pelapisan menggunakan polimer penyerapan airnya lebih kecil (2-10)% dibandingkan batu apung yang tidak dilapisi bahan polimer (30-40)%.

2.4 Regangan

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) terhadap panjang awal. Regangan dinotasikan sebagai (ϵ) dan tidak memiliki satuan. Perbandingan panjang awal dan panjang akhir dinyatakan dalam persamaan:

$$\epsilon = \Delta L / L$$

ΔL = pertambahan panjang

L = panjang awal

Selain dengan cara diatas, regangan dapat dicari jika diketahui modulus elastisitas dan tegangan leleh dari bahan tersebut. Regangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = \sigma / E$$

σ = Tegangan leleh (MPa)

E = Modulus elastisitas (MPa)

2.5 Pola Retak

Retak diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan unsur kimia dan perbedaan suhu. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak berbeda satu dengan lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser. Retak dimulai dari retak permukaan yang tidak dapat terlihat secara kasat mata. Apabila pembebanan diberikan secara terus

menerus dapat mengakibatkan retak rambut yang merambat hingga pada akhirnya terjadi kegagalan atau keruntuhan pada struktur (Restian, 2008).

Pada balok yang memiliki tulangan memanjang diperlukan penulangan secara transversal atau biasa disebut dengan tulangan geser untuk mencegah pembentukan retak miring. Secara garis besar, terdapat tiga jenis keretakan pada balok, yaitu:

1. Retak lentur (*flexural crack*)

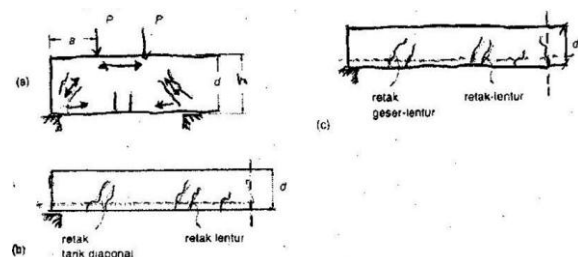
Retakan ini terjadi hampir tegak lurus dengan pada daerah yang memiliki momen lentur yang besar.

2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*)

Terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Bias dikatakan bahwa retak geser lentur adalah perambatan diagonal dari retak lentur yang terjadi sebelumnya.

3. Retak Tarik diagonal (*web shear crack*)

Retak Tarik diagonal terjadi pada garis netral. Hal ini terjadi saat gaya geser maksimum dan tegangan aksial yang terjadi sangat kecil.



Gambar 1. Jenis Retakan pada Balok

Sedangkan keruntuhan geser pada balok dapat dibagi menjadi empat jenis, antara lain:

1. Balok tinggi dengan rasio $a/d < 1/2$

Untuk jenis ini, tegangan geser lebih menentukan dibandingkan tegangan lentur. Setelah terjadi keretakan miring, balok

cenderung berperilaku sebagai suatu busur dengan beban luar ditahan oleh tegangan tekan beton dan tegangan 5erti pada tulangan memanjang.

2. Balok pendek dengan $1 < a/d < 2,5$

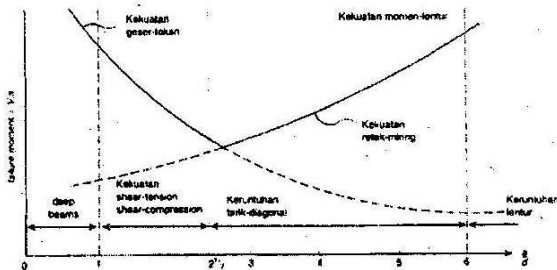
Kekuatan gesernya melampaui kapasitas keretakan miring. Setelah terjadi retakan geser-lentur, retakan ini menjalar ke daerah tekan beton bila beban terus bertambah.

3. Balok dengan $2,5 < a/d < 6$

Pada jenis ini lentur muai bersifat dominan dan keruntuhan geser biasanya diawali dengan retak lentur murni berbentuk 5ertical di tengah bentang dan akan semakin miring jika semakin dekat ke daerah yang memiliki tegangan geser lebih besar.

4. Balok panjang dengan rasio $a/d > 6$

Balok jenis ini memiliki kekuatan lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan gesernya, keruntuhan akan disebabkan oleh gaya lentur.



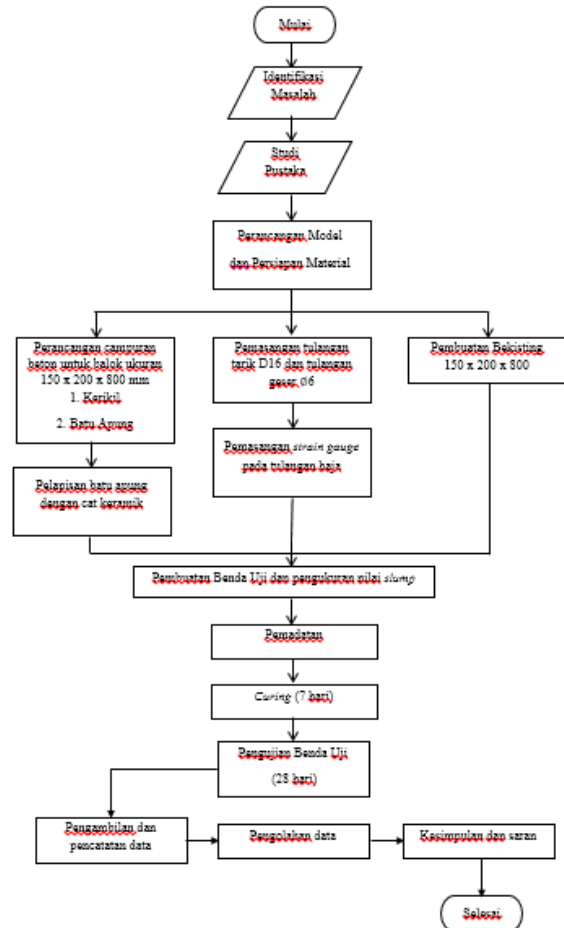
Gambar 2. Variasi Kekuatan Geser Menurut Nilai a/d

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tentang “Analisis Regangan dan Pola Retak yang Diakibatkan Beban Geser pada Beton Ringan Beragregat Kasar Batu Apung yang diberi Lapisan Cat Keramik” adalah penelitian eksperimental yang harus dilakukan di laboratorium. Produksi benda uji dan pengujian pembebanan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas

Brawijaya dengan waktu penelitian yaitu bulan juni 2016 sampai september 2016.

Berikut adalah diagram alur dari penelitian yang akan dilaksanakan:

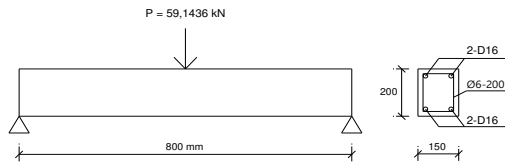


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

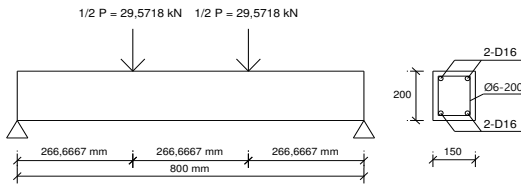
3.1 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibutuhkan 12 (dua belas) benda uji yang masing-masing benda uji perlakuannya sebagai berikut:

1. Enam buah balok beton berukuran 150 x 200 x 800 mm dengan campuran semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1 : 2 : 3 dengan jarak sengkang 200 mm
2. Enam buah balok beton berukuran 150 x 200 x 800 mm dengan campuran semen, pasir, dan batu apung dengan perbandingan 1 : 2 : 2 dengan jarak sengkang 200 mm



Gambar 4. Skema Pengujian dengan Satu Beban Terpusat



Gambar 5. Skema Pengujian dengan Dua Beban Terpusat

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Beton Segar

Beton yang baru keluar dari mesin pengaduk adalah beton segar. Pengujian yang dilakukan adalah uji *slump*. Beton segar dituang dari mesin pengaduk ke bak penampungan. Kemudian didapatkan nilai *slump* yang berguna untuk menunjukkan sifat kelecakan (*workability*) dalam campuran beton. Nilai *slump* diperoleh dari besarnya penurunan campuran beton segar yang telah dimasukkan kedalam kerucut Abrams dan diisi tiap $\frac{1}{3}$ bagian dengan setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali. Setelah itu, alat uji *slump* diangkat searah vertikal untuk memperoleh nilai *slump*. Hasil pengujian *slump* didapatkan nilai *slump* sebesar 10 cm, nilai pada pengujian ini menunjukkan bahwa nilai tersebut telah memenuhi untuk dilakukan pengujian selanjutnya.

Jenis Beton	<i>slump</i> (cm)
Normal	10
Beton Beragregat Kasar Batu Apung	10

Tabel 3. Hasil Pengujian Beton Segar

4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

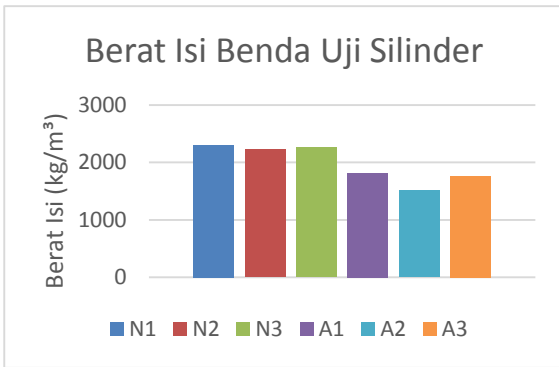
Pengujian tekan silinder beton dilakukan pada umur 28 hari untuk mendapatkan nilai dari kuat tekan beton. Benda uji silinder beton dibuat sebanyak 3 buah untuk masing – masing jenis beton, yaitu 3 buah untuk beton normal dan 3 buah untuk beton dengan agregat batu apung sehingga total silinder beton sebanyak 6 buah, dimana ukuran tinggi silinder 30 cm dan diameter 15 cm. Pada setiap benda uji dilakukan perawatan dengan cara merendam benda uji dalam air untuk meminimalisir proses hidrasi pada beton sehingga tidak terjadi retakan atau susut pada beton. Proses ini dilakukan selama 14 hari setelah beton di cor. Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah silinder beton berumur 28 hari.

Proses pencampuran dilakukan dengan bantuan mesin molen berkapasitas 150 kilogram. Material yang pertama dimasukkan adalah agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran diameter 1 – 2 mm atau batu apung dengan ukuran diameter 1 – 2 mm, lalu dilanjutkan dengan memasukkan pasir, semen dan air. Air dimasukkan kedalam molen secara perlahan agar air tercampur merata ke setiap material.

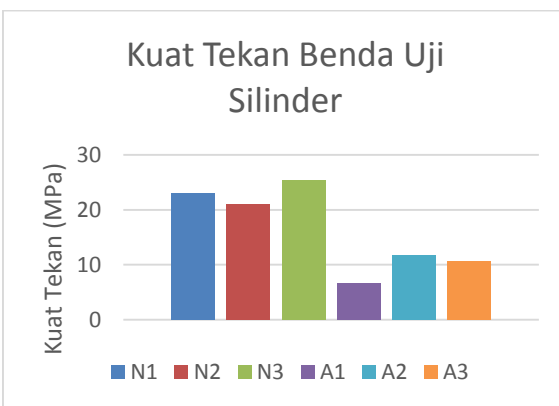
Setelah proses pencampuran selesai, campuran beton dimasukkan kedalam bekisting silinder dengan cara dituangkan perlahan sambil ditumbuk agar merata ke seluruh bagian bekisting.

Silinder	Berat Isi (kg/m ³)	Rata - rata	Kuat Tekan (Mpa)	Rata - rata
N1	2310,69	2266,68 kg/m ³	22,97	23,17 Mpa
N2	2225,81		21,10	
N3	2263,54		25,45	
A1	1820,26	1698,91 kg/m ³	6,62	9,67 Mpa
A2	1512,80		11,77	
A3	1763,67		10,63	

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder dan Berat Isi Silinder



Gambar 6. Grafik berat isi silinder



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Silinder

Pada *mix design* direncanakan kuat tekan sebesar 18 MPa. Berdasarkan hasil pengujian diatas, beton normal memiliki berat isi rata-rata 2266,68 kg/m³ dan kuat tekan rata-rata dengan nilai 23,17 MPa, melebihi kuat tekan pada rancangan *mix design*. Sementara untuk beton beragregat batu apung memiliki berat isi rata-rata 1698,91 kg/m³ dan kuat tekan rata-rata 9,67 MPa. Jika ditinjau dari segi berat isi, benda uji beragregat batu apung ini memenuhi persyaratan sebagai beton ringan. Namun dari segi kuat tekan, benda uji beragregat batu apung ini tidak memenuhi syarat minimum untuk beton ringan.

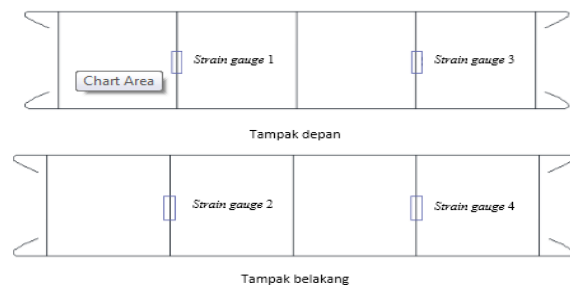
Konstruksi Bangunan	Beton Ringan	
	Kuat Tekan (Mpa)	Berat isi (kg/m³)
Struktural		
Minimum	17,24	1400
Maksimum	41,36	1850
Struktural Ringan		
Minimum	6,89	800
Maksimum	17,24	1400

Sumber : SNI 03-3449-2002

Tabel 5. Ketentuan Beton Ringan

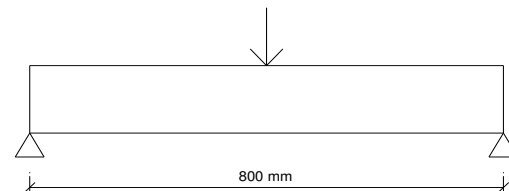
4.3 Hasil Pengujian Regangan

Pada percobaan ini dilakukan pengukuran regangan menggunakan *strain gauge* yang dipasang pada tulangan geser, lalu strain gauge dihubungkan pada alat pembacaan regangan yaitu *strain meter*. Setelah semua perangkat terhubung, dilakukan pembebanan aksial untuk mengetahui regangan yang disebabkan oleh gaya geser pada balok.



Gambar 8. Posisi *Strain gauge* pada tulangan geser

4.3.1 Pengujian Regangan dengan Satu Beban Terpusat di Tengah Bentang



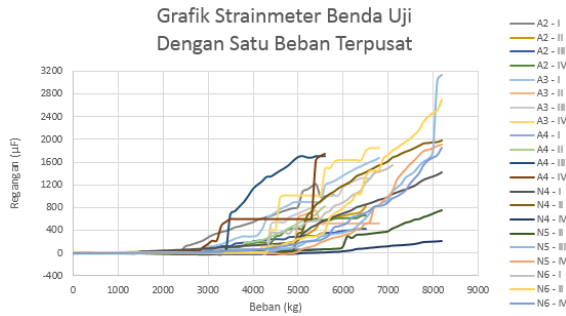
Gambar 9. Pemodelan Struktur dengan Satu Beban Terpusat Ditengah Bentang

Benda Uji	Keterangan
A2	Beton beragregat kasar batu apung
A3	Beton beragregat kasar batu apung
A4	Beton beragregat kasar batu apung
N4	Beton normal
N5	Beton normal
N6	Beton normal

Tabel 6. Benda Uji yang digunakan untuk Pengujian dengan Satu Beban

Strainmeter	Keterangan
I	Besar regangan pada strainmeter 1
II	Besar regangan pada strainmeter 2
III	Besar regangan pada strainmeter 3
IV	Besar regangan pada strainmeter 4

Tabel 7. Keterangan *Strainmeter*



Gambar 10. Grafik Regangan dan Beban dengan Satu Beban Terpusat



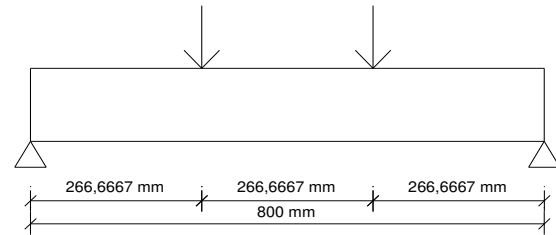
Gambar 11. Grafik Regangan dan Lendutan dengan Satu Beban Terpusat

Pada hasil pengujian dengan satu beban terpusat ditengah bentang, terlihat pada grafik terjadi perubahan regangan yang signifikan pada tulangan geser yang diawali pada rentang pembebanan 4000 – 4800 kg. Benda uji A2, A3 dan A4 runtuh pada pembebanan 5600 – 6800 kg sedangkan benda uji N4, N5 dan N6 masih sanggup menahan pembebanan sampai diatas 8200 kg. Besar regangan maksimal tulangan geser dengan pengujian satu beban terpusat ditengah bentang sebesar $1200\mu - 1800\mu$ pada beton beragregat kasar batu apung dan $1900\mu - 3100\mu$ pada beton normal. Pengujian tidak dilanjutkan sampai seluruh benda uji runtuh dikarenakan kapasitas *load cell* yang terbatas sampai 8200 kg.

Berdasarkan grafik pada gambar 4.24 dan 4.25, tulangan geser masih berada pada zona elastis pada pembebanan 0 – 2800 kg, lalu memasuki zona plastis pada pembebanan diatas 2800 kg sampai benda uji runtuh. Keruntuhan diawali dengan terjadinya retak pada beton, kemudian dilanjutkan dengan bertambahnya regangan

pada sengkang yang mencapai $3000\mu F$ yang merupakan regangan maksimum baja. Dapat disimpulkan bahwa benda uji mengalami kondisi *under reinforced*. Terdapat nilai regangan yang negatif dikarenakan faktor teknis pada *strain gauge* yang disebabkan oleh kesalahan instalasi.

4.3.2 Pengujian Regangan dengan Dua Beban Terpusat Simetris



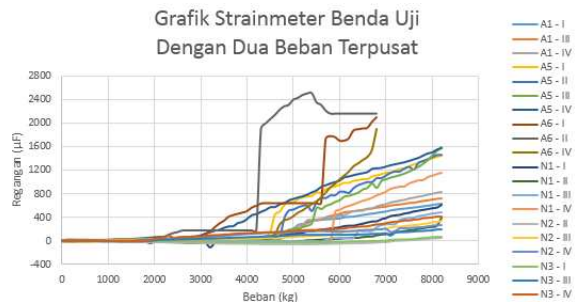
Gambar 12. Pemodelan Struktur dengan Dua Beban Terpusat Simetris

Benda Uji	Keterangan
A1	Beton beragregat kasar batu apung
A5	Beton beragregat kasar batu apung
A6	Beton beragregat kasar batu apung
N1	Beton normal
N2	Beton normal
N3	Beton normal

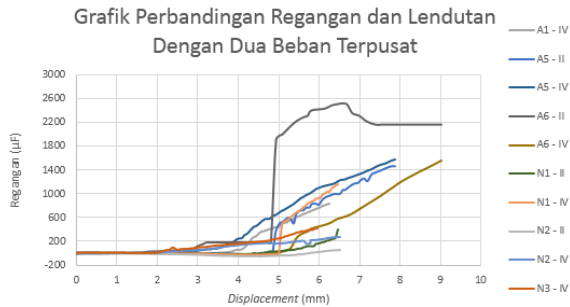
Tabel 8. Benda Uji yang digunakan untuk Pengujian dengan Dua Beban

Strainmeter	Keterangan
I	Besar regangan pada strainmeter 1
II	Besar regangan pada strainmeter 2
III	Besar regangan pada strainmeter 3
IV	Besar regangan pada strainmeter 4

Tabel 9. Keterangan *Strainmeter*



Gambar 12. Grafik Regangan dan Beban dengan Dua Beban Terpusat



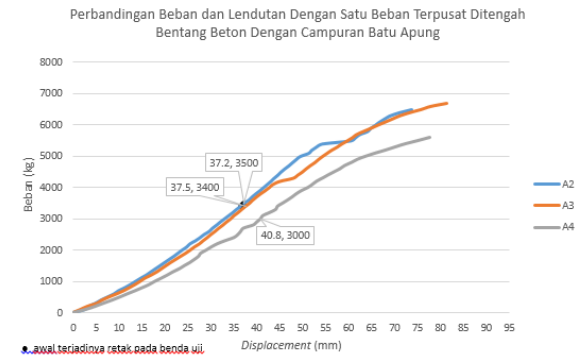
Gambar 13. Grafik Regangan dan Lendutan dengan Dua Beban Terpusat

Pada pembebanan dengan dua beban terpusat simetris, terjadi perubahan regangan yang signifikan pada benda uji A1, A5 dan A6 pada beban 4000 – 4500 kg. Benda uji A1 dan A5 tidak mengalami runtuh sampai pembebanan diatas 8200 kg, namun benda uji A6 runtuh pada pembebanan 6900 kg. Kenaikan regangan yang signifikan bersamaan dengan adanya retakan pada benda uji. Pada benda uji N1, N2 dan N3 tidak terjadi perubahan regangan yang signifikan. Besar regangan maksimal tulangan geser sebesar $835\mu - 2500\mu$ pada beton beragregat kasar batu apung dan $350\mu - 1153\mu$ pada beton normal. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa regangan yang terjadi pada benda uji beton dengan campuran batu apung lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton normal.

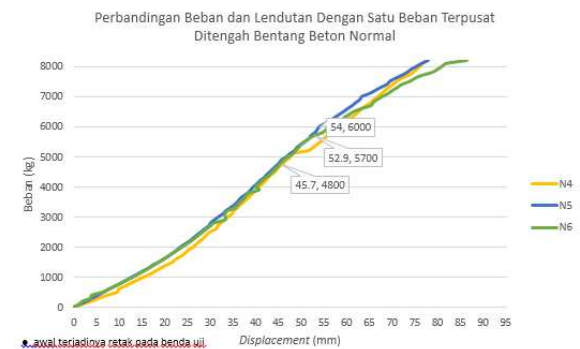
Berdasarkan grafik pada gambar 4.39 dan 4.40, tulangan geser masih berada pada zona elastis pada pembebanan 0 – 3000 kg, lalu memasuki zona plastis pada pembebanan diatas 3000 kg sampai benda uji runtuh. Keruntuhan diawali dengan terjadinya retak pada beton, kemudian dilanjutkan dengan bertambahnya regangan pada sengkang yang mencapai $3000\mu F$ yang merupakan regangan maksimum baja. Dapat disimpulkan bahwa benda uji mengalami kondisi *under reinforced*. Terdapat nilai regangan yang negatif dikarenakan faktor teknis pada *strain gauge* yang disebabkan oleh kesalahan instalasi.

4.4 Hasil Pengujian Pola Retak Beban Vertikal Maksimum

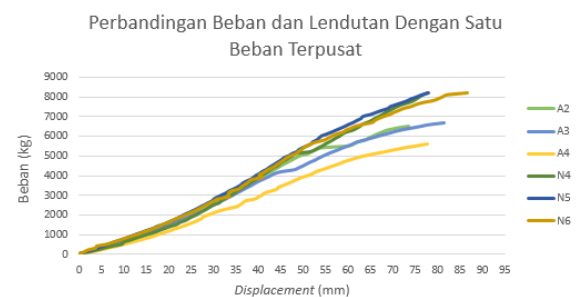
4.4.1 Pola Retak dan Beban Vertikal Maksimum Dengan Satu Beban Terpusat di Tengah Bentang



Gambar 14. Grafik Beban Dan Lendutan Pada Benda Uji Dengan Campuran Batu Apung dengan Satu Beban Terpusat



Gambar 15. Grafik Beban Dan Lendutan Pada Benda Uji Beton Normal dengan Satu Beban Terpusat

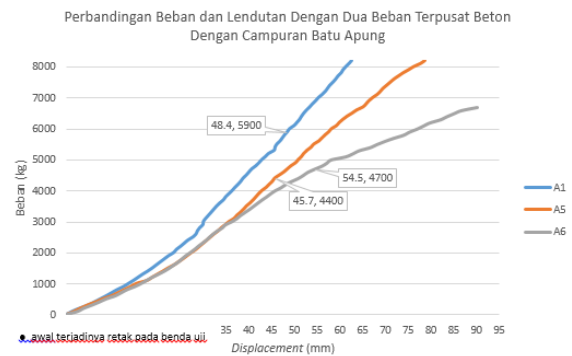


Gambar 16. Grafik Beban Dan Lendutan dengan Satu Beban Terpusat

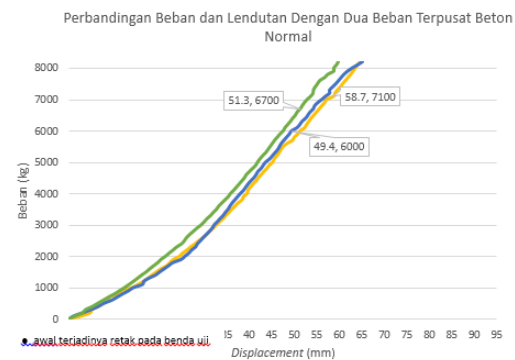
Tabel 4.11 menunjukkan mengenai hubungan antara pola retak dan beban yang mampu ditahan oleh balok benda uji. Terjadinya retak diakibatkan oleh beban aksial terpusat pada tengah bentang yang dibebankan pada balok. Seiring bertambahnya beban, terjadi pertambahan lebar dan panjang pada retak yang sudah ada atau munculnya retakan baru. Pada pembebanan ini, pada awalnya terjadi retakan geser pada tengah bentang dimana beban bekerja secara aksial yang dapat menyebabkan runtuh pada balok benda uji. Seiring dengan bertambahnya beban, retak geser yang sudah ada dari awal bertambah besar dan panjang lalu disertai dengan retakan geser lainnya sampai benda uji dinyatakan runtuh. Retakan yang terjadi pada benda uji beton dengan campuran batu apung lebih panjang dan jumlah retakan yang terjadi lebih banyak dibandingkan dengan benda uji beton normal. Retakan yang terjadi di awal terjadinya retakan pada beton dengan campuran batu apung adalah retakan yang menyebabkan runtuhnya benda uji.

Pada benda uji yang diberi satu beban terpusat ditengah bentang diawali pada beban 3000 kg – 3500 kg untuk beton beragregat kasar batu apung. Sedangkan untuk beton normal, retakan diawali pada beban 4700 kg – 5700 kg. Pada pengujian dengan satu beban terpusat ditengah bentang, benda uji A2, A3 dan A4 mengalami keruntuhan dikarenakan beban geser. Keruntuhan yang diakibatkan beban geser dapat dilihat dari pola retak yang terjadi pada benda uji. Keseluruhan benda uji yang diberi satu beban terpusat ditengah bentang mengalami pola retak serupa yaitu dikarenakan beban geser. Titik awal pembebanan terjadinya retakan pada benda uji beton dengan campuran batu apung lebih rendah dibandingkan dengan benda uji beton normal, hal ini terjadi dikarenakan perbedaan mutu beton antara beton dengan campuran batu apung dan beton normal.

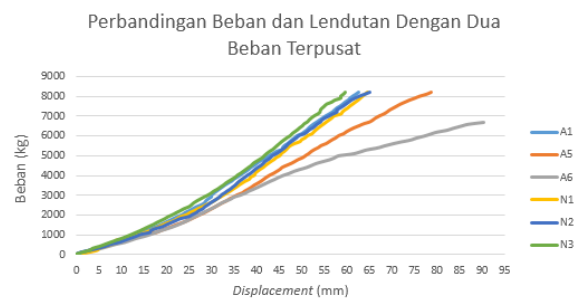
4.4.2 Pola Retak dan Beban Vertikal Maksimum Dengan Dua Beban Terpusat Simetris



Gambar 17. Grafik Beban Dan Lendutan Pada Benda Uji Dengan Campuran Batu Apung dengan Dua Beban Terpusat



Gambar 18. Grafik Beban Dan Lendutan Pada Benda Uji Beton Normal dengan Dua Beban Terpusat



Gambar 19. Grafik Beban Dan Lendutan Pada Benda Uji dengan Dua Beban Terpusat

Tabel 4.12 menunjukkan mengenai hubungan antara pola retak dan beban yang mampu ditahan oleh balok benda uji. Terjadinya retak diakibatkan oleh dua beban aksial terpusat yang simetris yang dibebankan pada balok. Seiring

bertambahnya beban, terjadi penambahan lebar dan panjang pada retak yang sudah ada atau munculnya retakan baru. Pada pembebanan ini, pada awalnya terjadi retakan geser pada sepertiga dan dua pertiga panjang bentang dimana beban bekerja secara aksial yang dapat menyebabkan runtuh pada balok benda uji. Seiring dengan bertambahnya beban, retak geser yang sudah ada dari awal bertambah besar dan panjang lalu disertai dengan retakan geser lainnya sampai benda uji dinyatakan runtuh. Pada pembebanan ini hanya benda uji A6 saja yang dinyatakan runtuh dikarenakan pembatasan pada load cell yaitu pada beban 8200 kg.

Berdasarkan hasil pengujian dan pola retak pada benda uji, dapat diketahui bahwa benda uji baik dengan campuran batu apung atau benda uji beton normal lebih kuat menahan pembebanan dengan dua beban terpusat dibandingkan dengan pembebanan dengan satu beban terpusat. Retakan yang terjadi pada benda uji beton dengan campuran batu apung lebih panjang dan jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan benda uji beton normal. Pada pengujian dengan dua beban terpusat simetris, retakan pada beton beragregat kasar batu apung diawali pada beban 4400 kg – 6000 kg, sedangkan pada beton normal, retakan diawali pada beban 6000 kg – 7000 kg. Pada pengujian dengan dua beban terpusat simetris, hanya benda uji A6 saja yang mengalami keruntuhan. Titik awal pembebanan terjadinya retakan pada benda uji beton dengan campuran batu apung lebih rendah dibandingkan dengan benda uji beton normal, hal ini terjadi dikarenakan perbedaan mutu beton antara beton dengan campuran batu apung dan beton normal. Namun jumlah retakan yang terjadi pada benda uji beton dengan campuran batu apung dan beton normal yang diberi dua beban terpusat simetris lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembebanan dengan satu beban terpusat ditengah bentang.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pengujian benda uji serta analisis data yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan proporsi campuran beton untuk beton normal dan beton dengan agregat kasar batu apung dengan perbandingan semen : pasir : agregat kasar sebesar 1 : 2 : 3 dalam satuan volume, regangan yang terjadi pada benda uji beton dengan campuran batu apung yang diberi lapisan cat lebih besar dibandingkan dengan benda uji beton normal, hal ini dikarenakan mutu beton yang diberi campuran batu apung lebih rendah dibandingkan dengan benda uji beton normal. Kekuatan beton berpengaruh dalam menahan regangan yang terjadi pada tulangan geser pada kedua benda uji.
2. Keseluruhan benda uji mengalami pola retak yang serupa yaitu retak geser. Retak geser adalah retak yang diakibatkan oleh beban geser. Benda uji beton yang menggunakan campuran batu apung yang dicat mengalami lebih banyak retakan dibandingkan dengan benda uji beton normal. Hal ini dikarenakan mutu beton yang diberi campuran batu apung yang dilapisi cat lebih rendah dibandingkan dengan benda uji beton normal, sehingga terjadi lebih banyak retakan yang dapat menyebabkan keruntuhan pada benda uji.

5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang berhubungan dengan penelitian beton dengan campuran batu apung sebagai agregat kasar :

1. Diperlukan adanya penelitian pendahuluan mengenai jenis batu apung yang akan digunakan sebagai agregat kasar pada beton.

2. Diadakannya penelitian lebih lanjut mengenai bahan pelapis batu apung agar dapat dipastikan bahwa cat pelapis dapat mengurangi sifat porositas batu apung secara optimal.
3. Perlu adanya perhitungan analitis yang lebih detil mengenai beban maksimum yang dapat ditahan benda uji, dikarenakan keterbatasan kapasitas load cell.
9. Nawi, E. G. 1998. *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.
10. Setia, G. D. 1987. *Batuan dan Mineral*. Bandung

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Andrian, Lutfi. "Berkenalan dengan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas & Daktilitas Material (Part-1)." 5 Juni 2016. kampustekniksipil.blogspot.id/2012/07/berkenalan-dengan-tegangan-regangan.html
2. Anonim. *ASTM C150: Standard Specification for Portland Cement*.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Ringan Struktural (SNI 03-2461-2002)*. Jakarta.
4. Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*. Jakarta.
5. Bideci, O.S., Alper B., Ali H.G., Sabit O. & Hasan Y. 2014. *Polymer Coated Pumice Aggregates and Their Properties. Composites. Part B*: p. 239-243.
6. Dini, Restian. 2008. *Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal Terhadap Lebar Retak Pada Bangunan*. Laporan Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
7. Green, S., Nicholas B. & Len M. *Pumice Aggregates for Structural Lightweight And Internally Cured Concretes*.
8. Kilic, A. 2009. *The effects of Scoria And Pumice Aggregates on The Strengths And Unit Weights of Lightweight Concrete. Scientific Research and Essay. Vol 4(10)*: p. 961-965.