

Kajian Perilaku Geser Balok Beton Ringan Busa Dengan Penambahan Agregat Pasir Pozzolan

Hafiz Riadi¹, Abdullah²

¹Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel Surabaya, Indonesia,

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

hafiscivil@gmail.com

Abstrak: Pada penelitian ini diuji 4 buah balok Beton Ringan Busa (BRB) berukuran 15 x 30 x 220 cm yang direncanakan mengalami gagal geser. Variabel yang diteliti adalah variasi jarak sengkang; 20 cm, 25 cm dan tanpa sengkang. Sebagai pembanding, dipersiapkan balok beton bertulang yang sama tapi menggunakan beton normal. Baik untuk tulangan utama maupun tulangan sengkang digunakan tulangan ulir. Mutu leleh baja yang digunakan untuk tulangan pokok adalah 415 MPa dan 359 MPa untuk tulangan sengkang. Diameter tulangan tekan digunakan 2 diameter 12,6 mm dan 4 diameter 15,6 mm untuk tulangan tarik, sedangkan tulangan sengkang digunakan diameter 7,6 mm. Pasir pozzolan yang digunakan didatangkan dari Krueng Raya Kecamatan Mesjid Raya. Agregat pasir pozzolan yang digunakan yang lolos saringan #4,76 mm. Hasil pengujian dibandingkan dengan balok beton konvensional. Hasil penelitian menunjukkan nilai kapasitas geser balok untuk masing-masing variasi jarak tulangan sengkang adalah, untuk balok dengan jarak sengkang 20 cm, kapasitas gesernya = 71,5615 kN; balok dengan jarak sengkang 25 cm, kapasitas gesernya = 63,4626 kN; untuk balok beton busa tanpa sengkang, kapasitas gesernya = 31,0673 kN. Sedangkan untuk balok beton konvensional dengan jarak sengkang 25 cm, kapasitas gesernya = 74,2019 kN.

Kata Kunci: Balok Beton Ringan Busa, pasir pozzolan, perilaku geser, pola retak, kapasitas geser.

1. Pendahuluan

Gempa dahsyat pada 26 Desember 2004 yang mencapai 8,9 skala richter dan diikuti bencana gelombang tsunami telah meluluh lantakkan sebagian besar Provinsi Aceh. Kerusakan infrastruktur yang terjadi diakibatkan oleh gelombang tsunami dan sebagian bangunan rusak akibat gempa. Allah SWT telah memberitahukan tentang bencana gempa, dalam Al Qur'an Surat Al – Zalzalah (ayat 1 – 5)

“Apabila bumi digoncangkan dengan guncangan (yang dahsyat), Dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandungnya), Dan manusia bertanya : “Mengapa bumi (menjadi begini) ?”, Pada hari itu bumi menceritakan beritanya, Karena sesungguhnya Tuhanmu telah memerintahkan (yang sedemikian itu kepadanya).

Dalam merencanakan bangunan tahan gempa, pemilihan bahan sangat penting untuk stabilitas bangunan tahan gempa. Gaya gempa adalah fungsi dari berat konstruksi dan percepatan, maka untuk meminimalisir gaya gempa dapat dilakukan dengan

memperkecil berat suatu konstruksi. Diantara bahan bangunan adalah, beton adalah yang paling banyak digunakan karena sejumlah kemudahan:

1. bahannya mudah diperoleh,
2. dapat dibentuk sesuai keinginan,
3. durabilitasnya relatif lebih baik dari bahan konstruksi lain,
4. tidak memerlukan perawatan yang mahal.

Beton busa adalah salah satu jenis beton ringan yang sangat mudah diproduksi. Beton busa telah digunakan secara luas di negara maju. *Aerated Cellular Concrete (ACC)* atau *Aerated Lightweight Concrete (ALC)*, yang komposisinya mirip dengan beton busa, diciptakan pada pertengahan tahun 1920 oleh arsitek Swedia dan penemu Johan Axel Eriksson.

Beton ringan AAC ini kemudian dikembangkan lagi oleh Joseph Hebel di Jerman Barat pada tahun 1943 (Hebel, 12). Selain ringan, bahan bangunan pracetak ACC ini juga baik sebagai isolator suara dan tahan api. Hasil penelitian yang dilakukan oleh

Abdullah (2010) menunjukkan bahwa dengan menambahkan agregat ringan alami mutu beton busa yang lebih tinggi dapat dicapai. Ditemukan bahwa, dengan $1,4 < \text{Specific Gravity (SG)} < 1,8$, $f_c > 17 \text{ MPa}$ dapat diproduksi.

Untuk dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, pemenuhan mutu saja tidak mencukupi. Perlu dilakukan pengujian-pengujian lain untuk memastikan bahwa bahan tersebut dapat sesuai sebagai salah satu bahan pada suatu elemen komposit, misalnya sebagai bahan untuk beton bertulang. Kajian juga perlu dilakukan untuk melihat perilaku suatu elemen, misalnya balok jika diberi beban.

Penelitian ini mengkaji perilaku geser balok beton busa ringan menggunakan pasir pozzolan alami untuk kemudian dibandingkan dengan perilaku geser yang timbul pada balok beton bertulang yang menggunakan beton konvensional. Dalam hal ini, untuk mendapatkan perilaku geser dilakukan dengan memperkuat tulangan lentur. Selain mengamati perilaku geser, juga memastikan bahwa beton ringan busa mutu struktural dapat digunakan sebagai bahan pengganti beton konvensional.

2. Studi Literatur

2.1 Geser Balok Beton Bertulang

Nawy (1998), perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok yang hancur karena geser kehancurannya secara tiba-tiba (getas) tanpa adanya pemberitahuan terlebih dahulu. Dalam perencanaan kekuatan geser, McCormac (2001) meninjau kekuatan geser nominal (V_n) sebagai jumlah dari dua bagian :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

- V_n = Kekuatan geser nominal (kg) ;
- V_c = Kekuatan geser akibat beton (kg) ; dan
- V_s = Kekuatan geser akibat tegangan geser (kg).

Kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) b_w d \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- V_c = Kapasitas geser beton (N) ;
- f'_c = Kuat tekan beton (MPa) ;
- b_w = Lebar balok (mm) ; dan
- d = Tinggi efektif penampang beton (mm).

Nawy (1998), untuk tulangan geser, V_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4)

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

- V_s = Gaya geser nominal yang disediakan oleh tulangan sengkang (N) ;
- A_v = Luas penampang tulangan sengkang (mm^2);
- f_y = Kuat luluh tulangan geser (MPa);
- d = Tinggi efektif penampang balok beton bertulang (mm); dan
- a. s = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser kearah sejajar tulangan pokok memanjang (mm).

2.2. Retak

Beton dapat retak pada awal pembebanan karena material ini lemah terhadap tarik. Retak mempunyai kontribusi terhadap proses korosi tulangan, rusaknya permukaan beton dan efek-efek jangka panjang lainnya. Tegangan lekatan antara baja tulangan dengan beton di sekitarnya (*bond strenght*) merupakan parameter utama yang mempengaruhi retak geser, juga lebar retak.

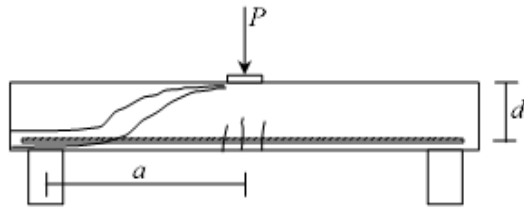
Menurut Nawy (1998) pada dasarnya keruntuhan geser pada balok merupakan keruntuhan tarik diagonal. Pada keruntuhan ini, retak halus mulai terjadi di tengah bentang berarah vertikal yang diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan kerusakan lekatan tulangan baja dan beton pada perletakan. Retak diagonal terjadi secara tiba-tiba dekat perletakan dan terus melebar ke retak diagonal utama. Keruntuhan ini tidak memberikan tanda-tanda sebelumnya (*brittle*).

Dalam kajian penelitian ini balok yang di uji geser mempunyai rasio perbandingan $a/d = 2,54$ maka dikategorikan keruntuhan tarik diagonal yang diperlihatkan pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Tipe Keruntuhan

| Kategori Balok | Ragam Keruntuhan | Kelangsingan (a/d) |
|----------------|------------------|--------------------|
| Langsing | Lentur | > 5,5 |
| Sedang | Tarik Diagonal | 2,5 – 5,5 |
| Tinggi | Tekan Geser | 1,0 – 2,5 |

Sumber : Nawy, 1998



Gambar 1. Pola retak tarik diagonal pada balok
(Sumber: Nawy, 1998)

2.3 Beton Ringan Busa (Lightweight Foam Concrete)

Menurut Neville dan Brooks (1993) terdapat 2 metode dasar yang dapat ditempuh untuk menghasilkan gelembung-gelembung gas/udara dalam beton atau membuat beton ber-aerasi yaitu:

- Gas *concrete* atau beton gas, dibuat dengan memasukkan suatu reaksi kimia dalam bentuk gas/udara ke dalam mortar basah, sehingga ketika bercampur menghasilkan gelembung-gelembung gas/udara dalam jumlah yang banyak.
- Foamed concrete* atau beton busa, dibuat dengan menambahkan *foaming agent* ke dalam campuran. Bahan pembentuk *foam agent* dapat berupa bahan alami dan buatan. *Foam agent* dengan bahan alami berupa protein memiliki kepadatan 80 gram/liter, sedangkan bahan buatan berupa synthetic memiliki kepadatan 40 gram/liter. Ukuran gelembung udara berupa busa dalam beton busa sangat kecil kira-kira 0,1-1,0 mm dan tersebar merata menjadikan sifat beton lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap suara. Salah satu bahan pembuat busa untuk campuran beton adalah bahan berbasis protein *hydrolyzed* dalam adukan beton. Fungsi dari *foam agent* ini adalah untuk menstabilkan gelembung

2.4 Pasir Pozzolan Alami

ASTM C 618-91, pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bahan pozzolan ini tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, dalam bentuknya yang halus dan bila ada air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dibebaskan dari hasil proses pengikatan semen pada suhu kamar.

ASTM C 593-82 juga mengemukakan bahwa pozzolan dibagi atas dua macam, yaitu bahan pozzolan alam (*natural pozzolan*) dan pozzolan buatan (*artificial pozzolan*). Pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan timbunan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi

(*pumice*) mengandung silika aktif. Pozzolan buatan berasal dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), dan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan mikro silika (*silica fume*).

3. Rencana Penelitian

3.1. Perencanaan Balok Beton Ringan Busa Beragregat Pasir Pozzolan Alami

Beton yang digunakan adalah beton ringan busa beragregat pasir pozzolan dengan kuat tekan 25 MPa. Benda uji balok dibuat berukuran 15 cm x 30 cm x 220 cm. Tulangan utama yang digunakan adalah besi ulir diameter 12,6 mm dan diameter 15,6 mm. Untuk tulangan sengkang digunakan besi ulir diameter 7,6 mm dapat dilihat pada Tabel 2. Benda uji BK-25 adalah benda uji control yaitu sebagai pembanding. Untuk memeriksa sifat mekanis beton, digunakan benda uji kubus sebanyak 3 buah, selinder 6 buah dan balok ukuran 40 x 10 x 10 cm sebanyak 3 buah, seperti terlihat pada tabel 3

Tabel 2. Ukuran Balok dan Kombinasi Jarak Tulangan

| Benda Uji | Dim. Balok | Jenis Material | Tulangan Utama | | Tulangan Sengkang | Jml |
|-----------|---------------|--------------------|----------------|------------|-------------------|-----|
| | | | Tekan (mm) | Tarik (mm) | | |
| BPZ -20 | 15 x 30 x 220 | Beton Ringan Busa | 2D12, 6 | 4D15, 6 | D7,6-20 cm | 1 |
| BPZ -25 | | | | | D7,6-25 cm | 1 |
| BPZ -0 | | | | | Tanpa Sengkang | 1 |
| BK-25 | | Beton Konvensional | | | D7,6-25 cm | 1 |

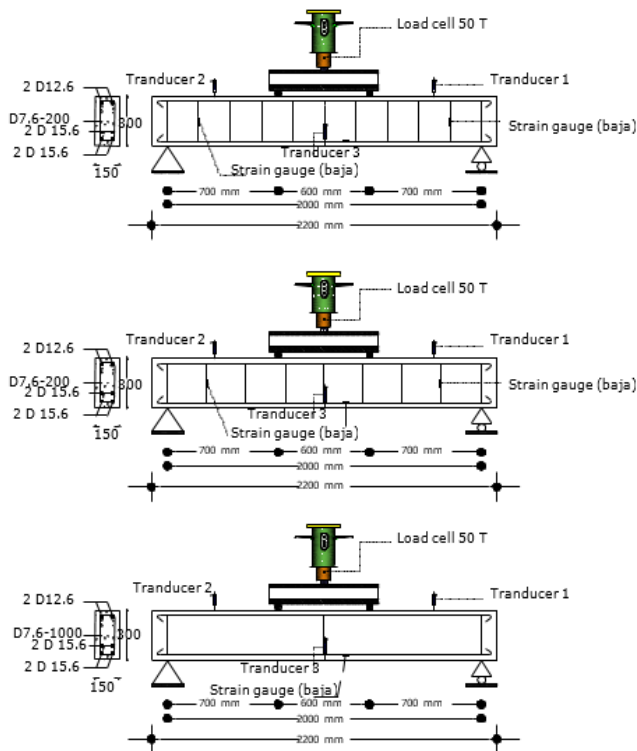
Tabel 3. Ukuran Benda Uji Sifat Mekanik

| Benda Uji | Lebar (cm) | Tinggi (cm) | Panjang (cm) | Diameter (cm) | Jml (buah) |
|-----------|------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| Selinder | - | 30 | - | 15 | 6 |
| Balok | 10 | 10 | 40 | - | 3 |

3.2 Pengujian Benda Uji Balok Beton Ringan Busa

Pengujian pembebanan benda uji balok pozzolan dilakukan pada umur 28 hari. Setelah ditimbang, benda uji balok balok diletakkan di atas tumpuan dengan panjang teoritis 220 cm. Pembebanan dilakukan dengan memberikan dua beban terpusat yang sama besar. Lendutan dan regangan dimonitor

setiap kenaikan beban 100 kg dengan menggunakan alat LVDT (*tranducer*) dan *strain gauge*. LVDT ditempatkan pada 3 lokasi, sedangkan *strain gauge* ditempatkan pada sengkang dan tulangan lentur. Beban diberikan secara bertahap per 100 kg hingga benda uji mengalami kehancuran. *Set up* pengujian benda uji balok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Set up* Pembebanan Benda Uji Balok
 (sumber: ilustrasi peneliti, 2015)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Sifat Mekanis Beton Ringan Busa Pozzolan

Secara umum pasir pozzolan alami sebagai bahan pengisi memberikan kontribusi positif terhadap pencapaian kuat tekan silinder, f'_c yang dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Hasil pengujian sifat mekanis beton ringan busa pozzolan

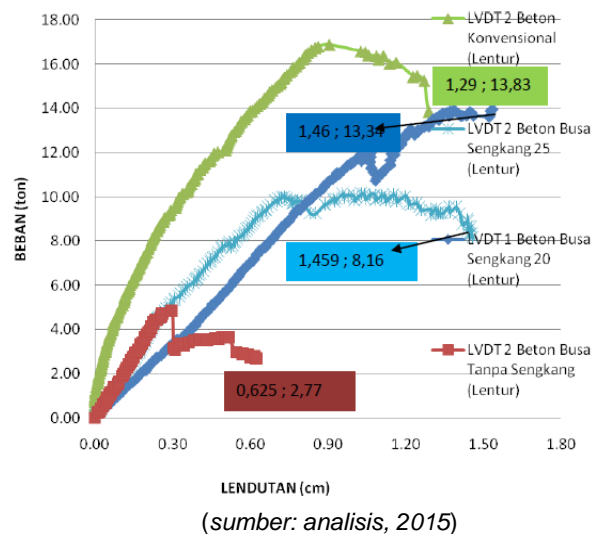
| Benda Uji | Selinder (15x30) | Balok (10x10x40) |
|---|------------------|------------------|
| % Pozzolan | 10 | 10 |
| Kuat Tekan Rata-rata f'_c (Mpa) | 25,048 | - |
| Kuat Tarik Belah Rata-rata f_t (Mpa) | 1,948 | - |
| Kuat Tarik Lentur Rata-rata f_r (Mpa) | - | 3,793 |

(sumber: hasil analisis, 2015)

4.2. Hasil Pengujian Balok Ringan Busa Pozzolan Dengan Balok Beton Konvensional Terhadap Jarak Sengkang Sengkang

Berdasarkan grafik gambar 3, dapat dilihat bahwa lendutan maksimum yang terjadi sebesar 1,290 cm pada beban 13,83 ton pada beton konvensional dengan jarak sengkang 25 cm. Lendutan maksimum balok BRB pozzolan dengan jarak sengkang 20 cm sebesar 1,462 cm pada beban 13,34 ton. Lendutan maksimum pada pada balok BRB pozzolan jarak sengkang 25 cm sebesar 1,459 cm pada beban 8,38 ton. Sedangkan lendutan maksimum pada balok BRB pozzolan tanpa sengkang sebesar 0,625 cm pada beban 2,77 ton.

Gambar 3. Grafik Beban dan Lendutan Hasil Pengujian untuk masing-masing benda uji balok



(sumber: analisis, 2015)

Lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton konvensional lebih besar dari lendutan maksimum yang dihitung secara teori dengan dua titik pembebanan yaitu 1,278 cm. Untuk balok BRB pozzolan dengan jarak sengkang 20 cm lebih kecil dari lendutan yang dihitung secara teori dengan dua titik pembebanan yaitu 2,429 cm, demikian juga untuk balok BRB pozzolan jarak sengkang 25 cm yaitu 2,053 cm. Tetapi untuk balok BRB tanpa sengkang dan balok beton konvensional lebih besar dari lendutan yang dihitung secara teori dengan dua titik pembebanan yaitu 0,532 cm, dan 1,278 cm. Persentase perbedaan besarnya lendutan maksimum dari hasil pengujian balok beton BRB pozzolan terhadap balok beton konvensional yaitu, 190,05% pada jarak sengkang 20 cm, 160,61% pada jarak sengkang 25 cm dan 41,59 % untuk balok tanpa sengkang.

4.3. Retak dan Pola Kehancuran Pada Balok BRB Pozzolan dengan Jarak Sengkang 20 cm.

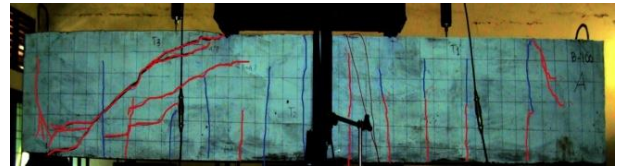
Retak dan pola kehancuran yang terjadi pada balok ini diperlihatkan pada Gambar 4. Beban yang timbul pada saat terjadi retak lentur dan geser awal pada balok BRB pozzolan dengan jarak sengkang 20 cm dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 4. Pola kehancuran balok beton ringan busa pozzolan pada jarak sengkang 20 cm (sumber: hasil analisis,2015)

4.5. Retak dan Pola Kehancuran Pada Balok BRB Pozzolan Tanpa Sengkang

Retak dan pola kehancuran yang terjadi pada balok ini diperlihatkan pada Gambar 6. Beban yang timbul pada saat terjadi retak lentur dan geser awal pada balok BRB pozzolan tanpa sengkang dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 6. Pola kehancuran balok beton ringan busa pozzolan tanpa sengkang (sumber: hasil analisis,2015)

Tabel 5. Beban yang timbul pada Pengujian Balok Beton Konvensional dan Balok BRB Pozzolan.

| Benda Uji | | BPZ- 20 | BPZ- 25 | BPZ - 0 | BNK - 25 | |
|------------------|---------------|---------|---------|---------|----------|--------|
| Retak Awal | Beban (ton) | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 4,2 | |
| | Lendutan (cm) | 0,029 | 0,082 | 0,087 | 0,071 | |
| | Regangan Baja | Lentur | 0,0001 | 0,0003 | | 0,0008 |
| | | Geser | 0,0003 | 0,0001 | | 0,0001 |
| Retak Geser Awal | Beban (ton) | 4,8 | 4,8 | 3,3 | 5,42 | |
| | Lendutan (cm) | 0,431 | 0,269 | 0,18 | 0,116 | |
| | Regangan Baja | Lentur | 0,0001 | 0,0011 | | 0,0011 |
| | | Geser | 0,00162 | 0,0009 | | 0,0003 |
| Beban Maksimum | Beban (ton) | 13,97 | 10,14 | 4,81 | 16,88 | |
| | Lendutan (cm) | 1,36 | 1,031 | 0,298 | 0,906 | |
| | Regangan Baja | Lentur | 0,0002 | 0,0022 | | 0,0043 |
| | | Geser | 0,0054 | 0,0068 | | 0,0042 |
| Beban Peralihan | Beban (ton) | 12,17 | 9,91 | 4,6 | 11,93 | |
| | Lendutan (cm) | 1,074 | 0,741 | 0,257 | 0,461 | |
| | Regangan Baja | Lentur | 0,0002 | 0,0022 | | 0,003 |
| | | Geser | 0,00438 | 0,0048 | | 0,002 |

Sumber : hasil analisis (2015)

4.4. Retak dan Pola Kehancuran Pada Balok BRB Pozzolan dengan Jarak Sengkang 25 cm

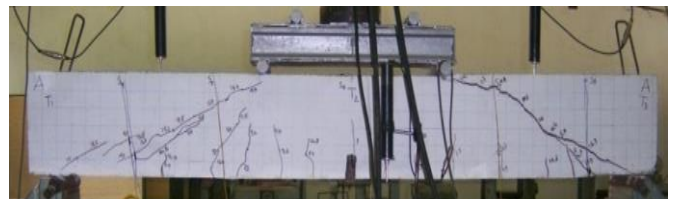
Retak dan pola kehancuran yang terjadi pada balok ini diperlihatkan pada Gambar 5. Beban yang timbul pada saat terjadi retak lentur dan geser awal pada balok BRB pozzolan dengan jarak sengkang 25 cm dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 5. Pola kehancuran balok beton ringan busa pozzolan pada jarak sengkang 25cm (sumber: hasil analisis,2015)

4.6. Retak dan Pola Kehancuran Pada Balok Beton Konvensional Dengan Jarak Sengkang 25 cm

Retak dan pola kehancuran yang terjadi pada balok ini diperlihatkan pada Gambar 7. Beban yang timbul pada saat terjadi retak lentur dan geser awal pada balok BRB pozzolan tanpa sengkang dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 7. Pola kehancuran balok beton konvensional jarak sengkang 25cm (sumber: hasil analisis,2015)

Hasil perbandingan pengujian benda uji balok beton dengan perhitungan balok beton konvensional dan pengujian balok beton dengan perhitungan balok beton konvensional berdasarkan penelitian Asmah (2011) diperlihatkan pada Tabel 6 dan 7. Dari Tabel 6 dan 7 dapat dilihat bahwa, rasio perbandingan teoritis antara P_{lab} terhadap P_{lentur} lebih besar dari 1 ($P_{lab} > P_{lentur}$). Kecuali untuk balok BRB pozzolan tanpa sengkang ratio perbandingan teoritis antara P_{lab} terhadap P_{lentur} lebih kecil dari 1 ($P_{lab} < P_{lentur}$). Hal ini sesuai dengan perencanaan awal tentang perilaku balok BRB pozzolan yang direncanakan gagal geser.

Dari Tabel 6 juga dapat dilihat bahwa, rasio V_{lab} berkisar antara 0,76 - 1,12 V_n , sedangkan dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa, rasio V_{lab} berkisar antara 0,95 - 1,14 V_n Ini menjelaskan bahwa persamaan yang digunakan untuk merencanakan geser balok BRB pozzolan yang didasarkan pada kondisi balok beton konvensional telah sesuai.

Tabel 6. Perbandingan Kapasitas balok beton dengan perhitungan teoritis

| Benda Uji Balok | f _c (MPa) | f _y lentur (MPa) | f _y geser (MPa) | Jarak Sengkang (cm) | Perbandingan Hasil | | | | | | | | | Rasio Perbandingan | Jenis Keruntuhan |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------|----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| | | | | | Beban Maksimum (KN) | | | Kuat Lentur (kNm) | | | Kuat Geser (kN) | | | | |
| | | | | | P _{geser} | Plab | Plab / P | M _{lab} | M _n | M _{lab} / M _n | V _{lab} | V _n | V _{lab} / V _n | P lab / V _n | |
| BPZ-0 | 24.82 | 415.3 | 359.5 | 0 | 61.85 | 47.19 | 0.76 | 81.86 | 67.64 | 1.21 | 23.59 | 30.92 | 0.76 | 1.53 | Geser |
| BPZ-25 | 23.52 | 415.3 | 359.5 | 25 | 125.00 | 99.47 | 0.80 | 100.16 | 67.64 | 1.48 | 49.74 | 62.50 | 0.80 | 1.59 | Geser |
| BPZ-20 | 26.69 | 415.3 | 359.5 | 20 | 145.13 | 136.36 | 0.94 | 113.07 | 67.64 | 1.67 | 68.18 | 72.57 | 0.94 | 1.88 | Geser |
| BK-25 | 24.05 | 415.3 | 359.5 | 25 | 148.40 | 165.59 | 1.12 | 123.30 | 67.64 | 1.82 | 82.80 | 74.20 | 1.12 | 2.23 | Geser |

Sumber: Hasil analisis (2015)

Tabel 7. Perbandingan Kapasitas Balok Beton dengan Perhitungan Teoritis Berdasarkan Penelitian Geser Murni

| Benda Uji Balok | f _c (MPa) | f _y lentur (MPa) | f _y geser (MPa) | Jarak Sengkang (cm) | Perbandingan Hasil | | | | | | | | | Rasio Perbandingan | Jenis Keruntuhan |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------|----------|------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| | | | | | Beban Maksimum (KN) | | | Kuat Lentur(kNm) | | | Kuat Geser(kN) | | | | |
| | | | | | P _{geser} | Plab | Plab / P | M _{lab} | M _n | M _{lab} / M _n | V _{lab} | V _n | V _{lab} / V _n | P lab / V _n | |
| BPZ-0 | 24,817 | 415,3 | 359,5 | 0 | 61,85 | 47,19 | 0,76 | 81,86 | 67,64 | 1,21 | 23,59 | 20,72 | 1,14 | 2,28 | Geser |
| BPZ-25 | 23,518 | 415,3 | 359,5 | 25 | 125,00 | 99,47 | 0,80 | 100,16 | 67,64 | 1,48 | 49,74 | 52,56 | 0,95 | 1,89 | Geser |
| BPZ-20 | 26,693 | 415,3 | 359,5 | 20 | 145,13 | 136,36 | 0,94 | 113,07 | 67,64 | 1,67 | 68,18 | 61,98 | 1,10 | 2,20 | Geser |
| BNK-25 | 24,047 | 415,3 | 359,5 | 25 | 148,40 | 165,59 | 1,12 | 123,30 | 67,64 | 1,82 | 82,80 | 74,20 | 1,12 | 2,23 | Geser |

Sumber: Asmah (2011)

4.7. Pembahasan

Berdasarkan pada gambar pola retak dari masing-masing balok dengan variasi jarak sengkang dapat diperhatikan bahwa, pola retak pada balok beton konvensional berbeda dengan pola retak pada balok beton ringan pozzolan. Pada balok beton ringan busa pozzolan, pola retaknya cenderung membesar pada salah satu sisi balok seiring dengan tercapainya beban maksimum. Sedangkan pada balok beton konvensional, pola retaknya cenderung merata keseluruhan sisi balok. Hal ini dikarenakan karena adanya material agregat kasar pada balok beton konvensional yang dapat menjembatani retak yang timbul sehingga dapat terdistribusi keseluruhan permukaan balok. Sebaliknya dengan pola retak yang timbul pada balok beton ringan busa cenderung merata dikarenakan material penyusunnya yang seluruhnya terdiri dari foam, sehingga ketika balok diberi beban, retak akan timbul dan membesar hanya di satu sisi balok saja.

5. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian kuat tekan, BRB pozzolan dapat diklasifikasikan dalam beton ringan struktur (Structural Light Weight Concrete).
2. Lendutan yang terjadi pada balok BRB pozzolan jarak sengkang 20 cm, 25 cm lebih kecil dari lendutan hasil perhitungan teoritis dengan dua titik pembebanan. Sebaliknya, untuk balok BRB pozzolan tanpa sengkang dan balok beton konvensional lebih besar dari lendutan hasil perhitungan teoritis dengan dua titik pembebanan.
3. Pada masing-masing variabel jarak sengkang,

diperoleh bahwa hasil pengujian kapasitas geser balok BRB lebih kecil dari kapasitas geser hasil perhitungan teoritis balok dengan mengasumsikan beton konvensional. Sedangkan, jika berdasarkan kapasitas geser hasil penelitian yang dilakukan oleh Asmah, (2011) diperoleh bahwa hasil pengujian kapasitas geser balok BRB jarak sengkang 20 cm dan tanpa sengkang lebih besar dari kapasitas geser hasil perhitungan teoritis. Tetapi, kapasitas geser balok BRB jarak sengkang 25 cm, masih lebih kecil dari kapasitas geser hasil perhitungan teoritis balok beton konvensional.

4. Semakin rapat jarak tulangan sengkang, kapasitas geser semakin besar. Namun, pada jarak sengkang yang sama (jarak sengkang 25 cm), kapasitas geser balok BRB pozzolan lebih kecil dari balok beton konvensional.

6. Daftar Pustaka

- Abdullah, dkk (2010) Pemanfaatan Bahan Limbah Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Mutu Tinggi. Laporan Penelitian Hibah Kompetensi DIKTI.
- Anonim, (1996) Concrete and Aggregate, Annual Book of ASTM Standards. Construction, section 4, volume 04.02.
- Arjuna, M (2010) Perilaku Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Bongkahan Cangkang Sawit, Tesis Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh.
- Azzani (2010) Pengaruh Penambahan Pasir Pozolan Alami Terhadap Sifat Mekanis Beton Busa, Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda

Aceh.

- Kwak Keun, Yoon, Eberhard O.M, Kim Suk Woo, Kim Jubum (2002) Shear Strength of Steel Fiber - Reinforced Concrete Beams without Stirrups. ACI Structural Journal.
- McCormac Jack C (2003) Desain Beton Bertulang. Edisi ke 5. Jakarta: Erlangga, Jilid 1.
- Macgregor, J.G (1997) Reinforced Concrete Mechanics and Design. Third Edition. USA: Prentice-Hall International, Inc.
- Nawy, Edward G (2008) Beton Bertulang. Bandung: Refika Aditama.
- Neville, A.M., and Brooks, J.J (2003) Concrete Technology. London: Longman.
- Park, R. And Paulay, T (1975) Reinforced Concrete Structure. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Schodek, D.L Terjemahan Bambang Suryatmono (1999) Struktur. Edisi ke 2. Jakarta: Erlangga.
- Zulkifli, A (2011) Kuat Geser Beton Ringan Busa dengan Uji Push-Off. Tesis Magister Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh