



# PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI DENGAN VARIASI FLY ASH BATU BARA, PASIR POZZOLAN DAN BONGKAHAN CANGKANG SAWIT

Cut Fatmawati<sup>a,\*</sup>, T. Budi Aulia<sup>b</sup>, Muttaqin<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

\*Corresponding author, email address: [cutfatmawati.ta@gmail.com](mailto:cutfatmawati.ta@gmail.com)

## ARTICLE INFO

### Article History:

Received 10 May 2020

Accepted 11 December 2020

Online 30 December 2020

### Keywords:

High strength concrete

Fly ash

Shear strength

Flexure strength

Tension strength

## ABSTRACT

The utilization of high strength concrete particularly on construction is an option in structural elements. High Strength Concrete (BMT) is a compressive strength exceeding 6000 psi or 41 MPa. High quality concrete can be obtained by mixing superplasticizers (high range water reducers) and cementitious mineral additives in the form of fly ash, pozzofume (super fly ash), and microscopy (silicafume). In this study, it will use the substitution of cement material using coal fly ash, fly ash pozzolan sand and palm shell ash fly ash, fine aggregates using pozzolan sand, coarse aggregates palm shell. The aim of this study is to compare the shear behavior of normal high quality reinforced concrete beams and beams with the addition of material substitution. The high quality reinforced concrete beam specimens were designed to experience shear failure by strengthening the bending area. Reinforced concrete beam specifications of beam size 150 mm x 300 mm x 2200 mm with shear reinforcement diameter of 6 mm (fy) 423.46 MPa, compressive reinforcement 16 mm (fy) 412.39 MPa and tensile reinforcement 19 mm (fy) 462, 24 MPa. The beam specimen is pure flexural tensile strength with a size of 150 mm x 150 mm x 600 mm and a cylindrical specimen with a diameter of 150 mm x 300 mm in height. The magnitude of the flexural tensile strength for BMT-N with  $f_{cc} = 44.4$  MPa is 4.5, and for BMT-FBPP with  $f_{cc} = 51.04$  MPa which is 5.35 with FAS 0.3. The results of the two beams experienced shear failure, with a comparison of laboratory and theoretical shear capacity of 2,292 BMT-N with a maximum load of 27,200 MPa, BMT-FBPP 1,720 with a maximum load of 21,410 MPa. The values of deflection and ductility tend to decrease in BMT-FBPP beams which are equal to 19.780% and 6%.

©2020 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu elemen struktur yang paling banyak digunakan. Seiring dengan berkembangnya teknologi beton dengan pesat, telah banyak peneliti yang menemukan teknologi terbaru daripada beton, seperti beton pracetak, beton busa, beton mutu tinggi dan beton yang lainnya. Beton Mutu Tinggi (BMT) merupakan beton yang kuat tekan melebihi 6000 psi atau 41 MPa (McCormac, 2003:21). Untuk mencapai beton mutu tinggi penambahan bahan tambahan dan kualitas material yang baik sangat mempengaruhi besarnya mutu beton yang akan dicapai pada beton mutu tinggi, sehingga diperlukan percobaan – percobaan pemanfaatan pada material alam berupa limbah hasil pembakaran maupun abu pozzolan yang mengandung silica alumina sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan mutu dari beton mutu tinggi. Pada penelitian ini peneliti bertujuan untuk melihat besaran dan pola perilaku geser balok beton bertulang mutu tinggi dengan substitusi material fly ash batubara, cangkang sawit dan pasir

pozzolan sebagai substitusi semen maupun agregat menggunakan substitusi material semen, agregat halus, agregat kasar dan filler dengan cangkang sawit, pasir pozzolan, fly ash batu bara dan bijih besi. Cangkang sawit dan fly ash batu bara adalah limbah yang dapat dimanfaatkan untuk dapat mengurangi limbah hasil pembakaran di perkebunan kelapa sawit dan fly ash batu bara merupakan limbah hasil pembakaran industri Pembangkit Tenaga Listrik Uap (PLTU). Sehingga pada bagian pertama, penulis akan memberikan penjelasan terkait kajian pustaka mengenai konsep beton mutu tinggi terkait dari bahan tambahan yang digunakan, sifat beton bertulang serta beberapa perilaku yang dapat terjadi seperti lendutan, retak dan duktilitas. Selanjutnya penulis akan memberikan penjelasan singkat mengenai metodologi yang digunakan dimulai dari bahan pengujian, perencanaan uji balok beton bertulang mutu tinggi dan perilaku terhadap kuat geser. Salah satu hasil yang didapatkan bahwa pembentukan retak pada umumnya dari setiap benda uji berbeda-beda, tetapi kehancuran yang terjadi sama yaitu kehancuran geser atau gagal geser. Hal ini di tunjukkan dengan dominannya retak di daerah geser. Untuk lendutan, variasi agregat menjadi hal yang berpengaruh. Variasi aditif dan substitusi agregat cenderung dapat menurunkan nilai lendutan balok beton mutu tinggi. Hal-hal yang lain akan dibahas di bab pembahasan.

## **2. KAJIAN PUSTAKA**

### **2.1 Konsep Beton Mutu Tinggi**

Upaya untuk mendapatkan beton mutu tinggi yaitu dengan meningkatkan mutu material pembentuknya. Umumnya pada beton mutu tinggi menggunakan 5 bahan bangunan campuran, yaitu semen, air, agregat kasar dan agregat halus, bahan admixture (superplasticizer) dan bahan additive (silica fume, *fly ash*, dan lainnya). Faktor air semen (FAS) yang digunakan pada beton mutu tinggi yaitu antara 0,28 sampai dengan 0,38, sedangkan untuk beton mutu sangat tinggi faktor air semen yang digunakan lebih kecil dari 0,2 menurut Ma & Dietz (2002) yang dikutip dari Pujiyanto (2011).

### **2.2 Bahan Tambah**

Berdasarkan penelitian Aulia (2005), bahwa secara umum bahan tambahan yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu additive dan admixture. Additive adalah mineral, bersifat cementitious apabila ditambahkan dengan semen atau kapur, seperti mikrosilika, abu terbang, nanosilika, metakaolin yang ditambahkan pada semen sebagai bahan utama beton. Selanjutnya admixture adalah bahan tambahan campuran beton yang bersifat cair, biasanya dicampurkan bersama air.

Salah satu bahan additive yaitu Superplasticizer yang merupakan bahan tambahan kimia yang digunakan untuk mempertinggi workabilitas yaitu sifat kemudahan pengerjaan hingga dapat mengurangi jumlah air pencampur (water reducing admixture) dengan bahan dasar berupa gugus sulphonat yang mengandung ion negatif. Penambahan superplasticizer dalam campuran beton dapat mengurangi penggunaan air (5 – 20)% tanpa mengurangi workabilitasnya berdasarkan Subakti (1995) yang dikutip dari Nurhasanah (2010).

Untuk penggunaan pasir pada beton, pasir besi pada beton dapat memperbaiki *interface* antara mortar dan agregat kasar, kandungan magnesium pada pasir besi yang sangat kecil dapat mengurangi timbulnya pemekaran (*efflorance*) dalam struktur beton terutama bila senyawa diikat dengan air.

Kerak boiler cangkang sawit merupakan limbah sawit jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti, limbah cangkang sawit berbentuk tidak beraturan, memiliki kekerasan cukup tinggi dan berwarna hitam keabuan (Purwanto, 2011) yang dikutip dari (Pratiwi, 2014).

Pozolan adalah bahan yang mengandung silika atau alumino silika yang secara sendiri. Pozolan terbagi atas 2 macam yaitu pozzolan alam dan pozzolan buatan. Pozolan alam adalah bahan-bahan yang secara alami menunjukkan sifat-sifat pozzolan, seperti sebagian abu vulkanik dan endapan lava, sedangkan pozzolan buatan adalah bahan-bahan yang dihasilkan dari kalsinasi tanah yang mengandung silika alami, kalsinasi tersebut bertujuan untuk mengaktifkan sifat dari pozzolan.

### 2.3 Kekuatan Balok Beton Bertulang

Dalam desain kekuatan batas (ultimit), balok didesain untuk mulai gagal pada beban yang diperbesar. Menurut Nawy (2005 : 147), perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Tegangan geser dan lentur timbul di sepanjang struktur yang menahan gaya geser dan momen lentur, sehingga penampang mengalami tegangan di antara garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok (Asroni, 1997). Dalam perencanaan kekuatan geser, McCormac (2003 : 240) meninjau kekuatan geser nominal ( $V_n$ ) adalah kekuatan geser nominal dari beton ditambahkan dengan kekuatan tulangan geser, yang dapat dilihat pada rumus 1 dan 2.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (1)$$

$$\phi V_u \leq \phi V_c + V_s \quad (2)$$

Di mana:

- $V_u$  = Kekuatan geser maksimum (kg) ;
- $V_n$  = Kekuatan geser nominal (kg);
- $V_c$  = Kekuatan geser akibat beton (kg) ; dan
- $V_s$  = Kekuatan geser akibat tegangan geser (kg).
- $\phi$  = Faktor reduksi (0.85)

Kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan :

$$V_c = \left( \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \right) b_w d \quad (3)$$

Di mana :

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

Untuk kuat lentur, McCormac (2003 : 133) menyatakan analisis lentur balok bertulang rangkap menyangkut penentuan kuat nominal momen suatu penampang ( $M_n$ ) dengan nilai-nilai  $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $d'$ ,  $A_{s1}$ ,  $A_{s'}$ ,  $f'_c$ , dan  $f_y$  dapat ditulis dengan persamaan berikut

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (4)$$

$$M_{n2} = A_{s'} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (5)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (6)$$

Tinggi blok tegangan beton :

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (7)$$

Letak garis netral :

$$c = \frac{a}{\beta} \quad (8)$$

Di mana:

- $M_n$  = Kuat nominal momen lentur (kg.cm);
- $a$  = Tinggi blok tegangan tekan (cm);

- c = Jarak serat terluar ke garis netral (cm);  
 d = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik (cm); dan  
 d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (cm).

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Metode eksperimental adalah metode yang telah digunakan oleh peneliti pada penelitian ini. Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Peralatan yang digunakan berupa peralatan pemeriksaan sifat fisis material, peralatan pembuatan benda uji dan peralatan pengujian benda uji. Untuk material yang digunakan yaitu Semen Portland (PC) tipe 1; Agregat halus (fine aggregate), terdiri atas pasir halus (fine sand) dan pasir kasar (coarse sand); Batu pecah (split); Air; Superplasticizer jenis ViscoCrete 10; Pasir pozzolan dari wilayah Aceh Besar, Fly ash batu bara dari PLTU Nagan Raya; dan Abu cangkang sawit dari PT. Mopoly Raya Aceh Barat. Sehingga ada 7 model benda uji yang digunakan dalam penelitian ini yang masing-masing memiliki beberapa penambahan zat additive yang berbeda-beda.

**Tabel 1.** Komposisi untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (BMT-N)

| Material                 | Berat (kg) |
|--------------------------|------------|
| Air                      | 153,00     |
| Semen                    | 510,00     |
| <i>Fly Ash</i> Batu Bara | 90,00      |
| Abu Cangkang Sawit       | -          |
| Abu Pozzolan             | -          |
| Pasir                    | 530,91     |
| Pasir Pozzolan           | 58,99      |
| Pasir BCS                | -          |
| Split                    | 530,91     |
| Agregat Kasar BCS        | 353,94     |
| Bijih Besi               | 30,60      |
| <i>Superplasticizer</i>  | 7,65       |

**Tabel 2.** Komposisi untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (BMT-FBPP)

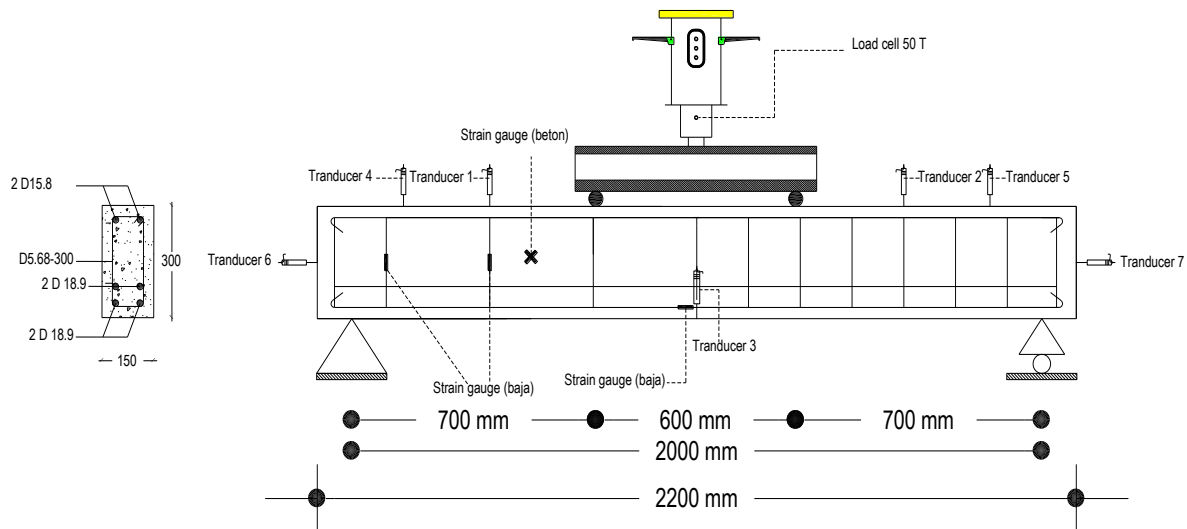
| Material                 | Berat (kg) |
|--------------------------|------------|
| Air                      | 180,00     |
| Semen                    | 600,00     |
| <i>Fly Ash</i> Batu Bara | -          |
| Abu Cangkang Sawit       | -          |
| Abu Pozzolan             | -          |
| Pasir                    | 649,59     |
| Pasir Pozzolan           | -          |
| Pasir BCS                | -          |
| Split                    | 974,38     |
| Agregat Kasar BCS        | -          |
| Bijih Besi               | 36,00      |
| <i>Superplasticizer</i>  | 9,00       |

#### 3.2 Perencanaan Benda Uji Balok Beton Bertulang

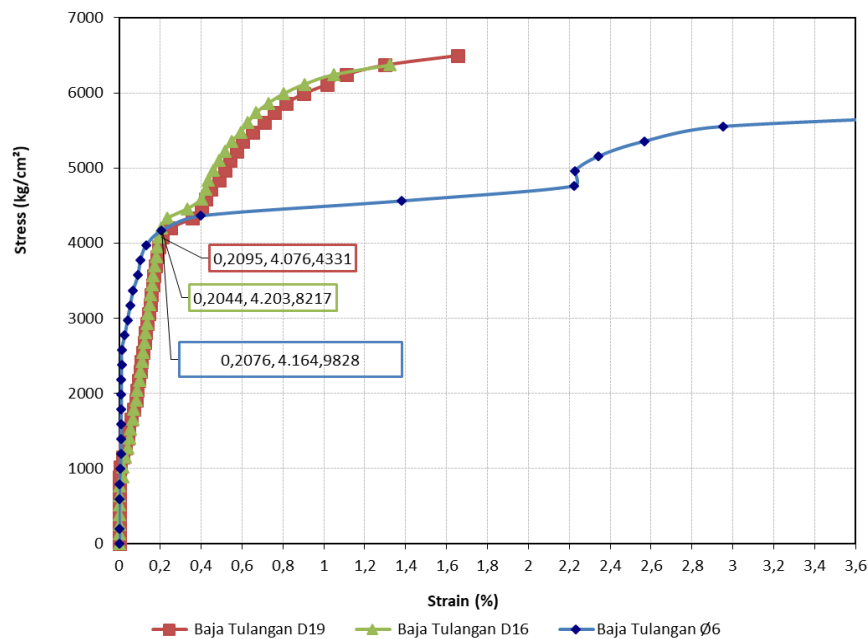
Beton yang akan digunakan adalah beton mutu tinggi dengan substitusi agregat dan penambahan bahan aditif dengan kuat tekan  $f'_c = 70$  Mpa. Ukuran balok yang akan digunakan berukuran 150 x 300 x 2200 mm. Di samping itu juga dibuat benda uji selinder diameter 15 cm x 30 cm dan serta balok ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tarik lentur beton. Pengujian yang akan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Gambar 1 memperlihatkan *set-up* benda uji.

Pengujian kuat tarik lentur beton berdasarkan ketentuan yang tercantum pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-4431-1997). Benda uji yang digunakan berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Beban dari mesin uji disalurkan melalui plat baja untuk diteruskan ke balok menjadi beban titik masing-masing pada jarak 1/3 bentang.

Baja yang digunakan sebagai tulangan balok harus diketahui kuat tarik dari baja tersebut. Pada pengujian kuat tarik baja, beban diberikan secara kontinyu sampai baja putus. Hasil pengujian ini digambarkan dalam suatu kurva hubungan tegangan tarik baja dengan regangan seperti pada Gambar 2. Baja yang digunakan yaitu tulangan geser Ø6-300, tulangan tekan 2D16 dan tulangan tarik 4D19. Perilaku balok yang akan diamati yaitu pola retak, lendutan, beban maksimum yang dipikul oleh balok, kapasitas geser pada balok dan daktilitas.



**Gambar 1.** Set-up Benda Uji Balok Beton Bertulang



**Gambar 2.** Kurva Tegangan – Regangan Baja

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian yang direncanakan seperti pemeriksaan sifat fisis agregat, pengujian kuat tarik baja, hasil pengujian kuat tekan BMT, hasil pengujian kuat tarik lentur BMT, hasil pengujian balok BMT dengan variasi substitusi semen, agregat halus dan agregat kasar, pola retak yang terjadi pada balok BMT dan daktilitas. Untuk itu, pada bagian ini, peneliti akan memberikan penjelasan mengenai dua buah benda uji sehingga dapat dijadikan perbandingan yaitu beton mutu tinggi normal / tanpa substitusi material dan beton mutu tinggi dengan penambahan *fly ash* batu bara (15%) + pasir pozzolan (10%).

##### 4.1 Hasil Uji Mutu Beton dan Baja

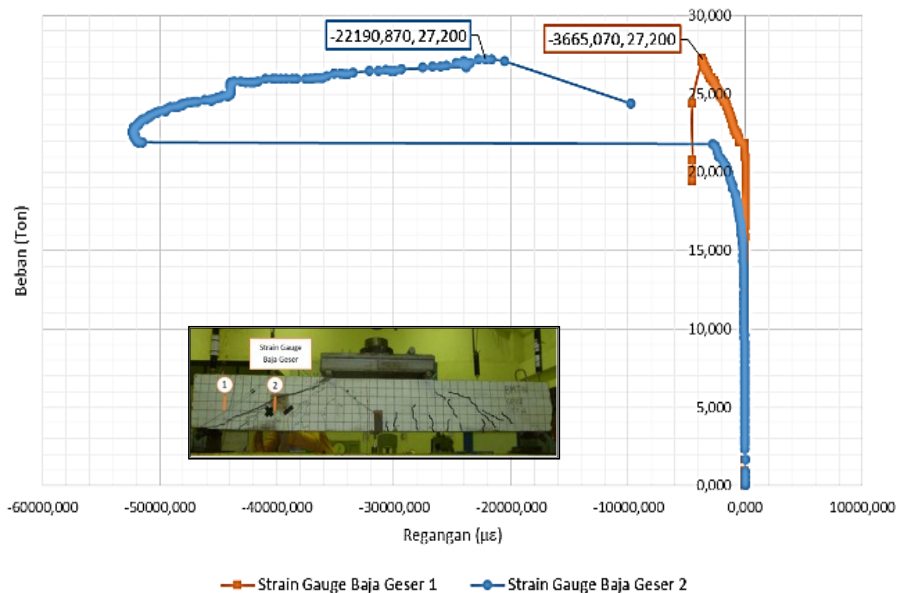
Pengujian tegangan-regangan dilakukan pada benda uji Ø 30 cm tinggi 20 cm. Dari pengujian didapatkan besaran kuat tekan beton, kuat tarik lentur untuk BMT-N dengan dan untuk BMT-FBPP. Nilai kuat tarik baja juga dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Pengujian Mutu Beton dan Baja

| Benda Uji | $f_c$ (Mpa) | $f_r$ (Mpa) | $f_y$                             |
|-----------|-------------|-------------|-----------------------------------|
| BMT-N     | 44,4        | 4,5         | $\varnothing 6-300 = 423,426$ MPa |
| BMT-FBPP  | 51,04       | 5,35        | 2D16 = 412,39 MPa                 |
|           |             |             | 4D19 = 462,24 MPa                 |

#### 4.2 Hasil Pengujian Balok BMT-N

Grafik hubungan beban dengan regangan baja pada tulangan geser dapat dilihat pada gambar 2. dibawah ini. Berdasarkan Gambar 3, regangan pada strain gauge geser 2 yaitu sebesar 22190,870  $\mu\epsilon$  pada beban 27,20 ton lebih besar dibandingkan dengan regangan pada strain gauge 1 yaitu 3665,070  $\mu\epsilon$  pada beban 27,2 ton. regangan pada tulangan tarik sebesar 4821,35  $\mu\epsilon$  pada beban maksimum 27,20 ton.

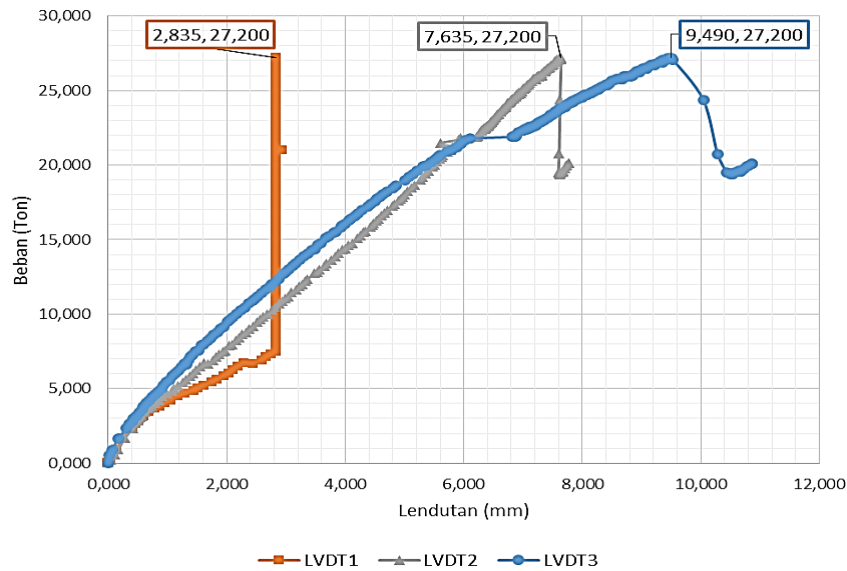


**Gambar 3.** Grafik Beban-Regangan Baja Pada Tulangan Geser Balok BMT-N

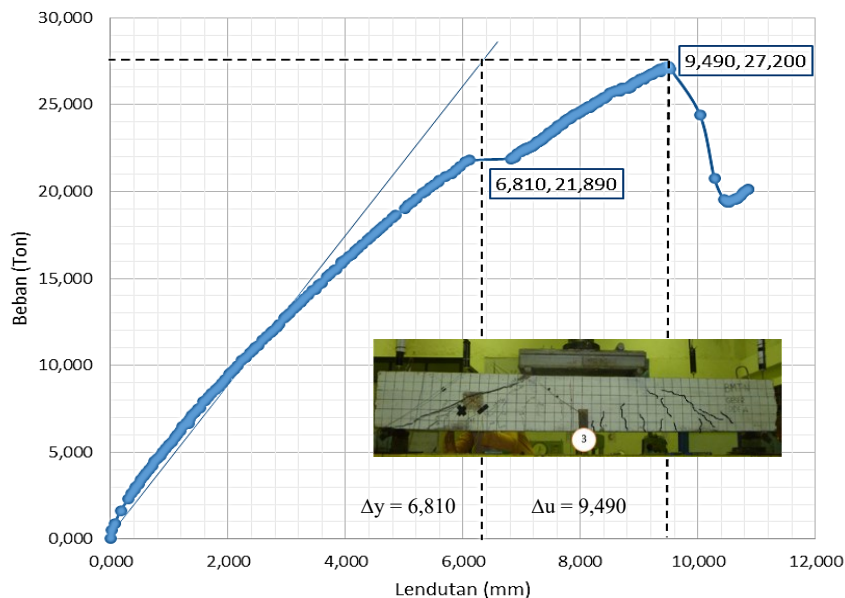
Retak pertama terjadi pada beban 6,4 ton dengan lendutan 1,23 mm. Untuk nilai lendutan yang diperoleh di laboratorium menunjukan lendutan maksimum balok BMT-N yang diperoleh lebih besar dari lendutan yang dihitung secara teoritis yaitu sebesar 8,983 mm. Untuk perbandingan beban terhadap lendutan didapat lendutan luluh ( $\Delta y$ ) sebesar 6,810 mm dan lendutan ultimit ( $\Delta u$ ) sebesar 9,490 mm sehingga didapat daktilitas balok BMT-N sebesar 1,394.



**Gambar 4.** Grafik Pola Retak Balok BMT-N



**Gambar 5.** Grafik Beban-Lendutan Balok BMT-N



**Gambar 6.** Grafik Beban-Lendutan pada tengah Balok BMT-N

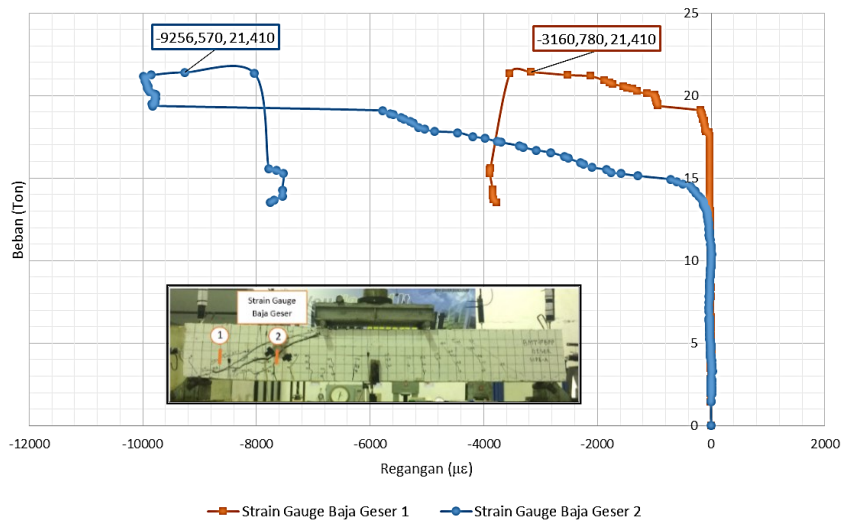
#### 4.3 Hasil Pengujian Balok BMT-FBPP

Grafik hubungan beban dengan regangan baja pada tulangan geser dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini. Berdasarkan Gambar 7 regangan pada strain gauge geser 2 yaitu sebesar  $9256,57 \mu\epsilon$  pada beban 21,41 ton lebih besar dibandingkan dengan regangan pada strain gauge geser 1 yaitu  $3160,78 \mu\epsilon$  pada beban 21,41 ton.

Untuk beban retak, beban diberikan pada benda uji dan dicatat dengan interval 100 kg. Retak pertama terjadi pada beban 5,0 ton dengan lendutan 0,66 mm. Nilai tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan beban maksimum rata-rata pada pengujian kuat lentur murni yang merupakan kontrol retak awal pada balok yaitu sebesar 5,35.

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan lendutan maksimum balok BMT-FBPP yang diperoleh lebih kecil dari lendutan yang dihitung secara teoritis yaitu sebesar 10,114 mm dan perbandingan beban terhadap lendutan didapat lendutan luluh ( $\Delta y$ ) sebesar 5,840 mm dan lendutan ultimit ( $\Delta u$ ) sebesar 7,670

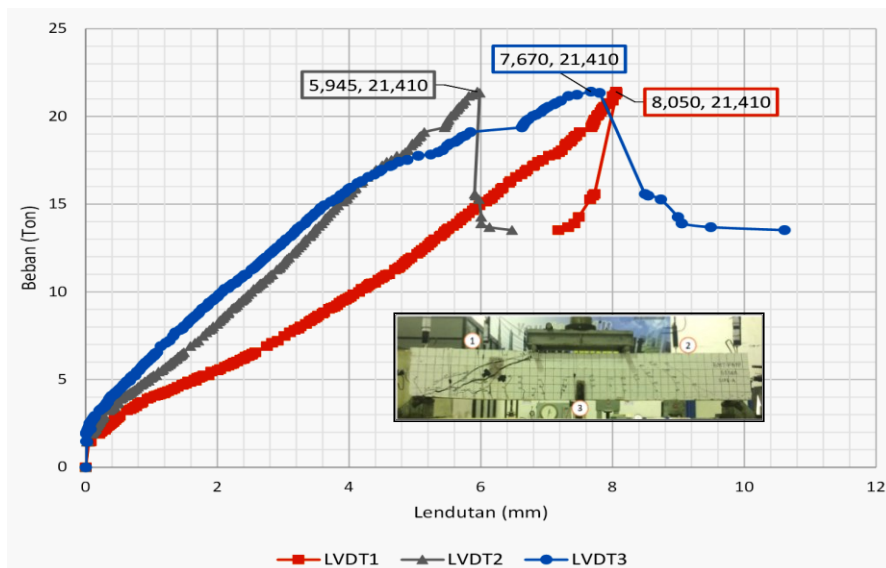
mm sehingga didapat daktilitas balok BMT-FBPP sebesar 1,313.



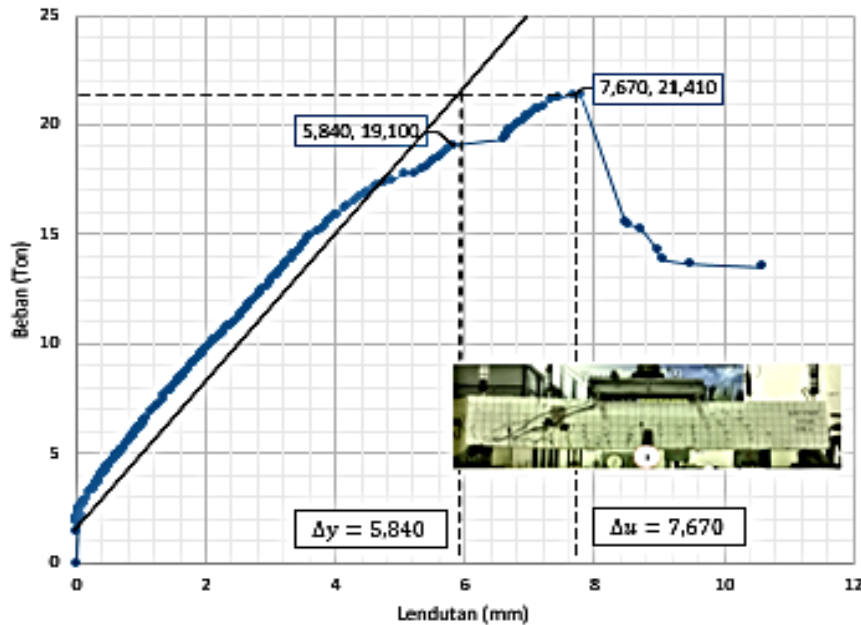
**Gambar 7.** Grafik Beban-Regangan Baja Pada Tulangan Geser Balok BMT-FBPP



**Gambar 8.** Grafik Beban-Regangan Baja Pada Tulangan Geser Balok BMT-FBPP



**Gambar 9.** Grafik Beban-Lendutan Balok BMT-FBPP



**Gambar 10.** Grafik Beban-Lendutan pada tengah Balok BMT-FBPP

#### 4.4 Perbandingan Kapasitas Balok

Beban maksimum hasil pengujian laboratorium terhadap dua balok uji yaitu balok BMT-N 27,200 ton dan BMT-FBPP 21,410 ton. Untuk perbandingan kapasitas geser hasil pengujian laboratorium terhadap kapasitas geser hasil perhitungan teoritis untuk balok BMT-N 2,292 dan BMT-FBPP 1,720. Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa kapasitas geser balok BMT-N lebih besar dari kapasitas geser BMT dengan penambahan variasi substitusi semen, agregat halus dan agregat kasar.

Untuk pengujian retak dan pola kehancuran, bahwa variasi substitusi semen, agregat halus, dan agregat kasar dapat meningkatkan beban terjadinya retak awal dengan kisaran beban 3,9 ton sampai 6,4 ton. Jumlah retak semakin banyak seiring dengan penambahan beban.

Balok BMT normal pada saat beban maksimum salah satu retak lentur membesar sampai pada bagian balok atau beton telah luluh selanjutnya diikuti luluh tulangan geser dan dapat dikatakan balok tersebut getas. Sementara itu 6 balok yang lain yaitu BMT dengan variasi aditif dan substitusi agregat, pada beban lebih besar dari 75% beban maksimum terjadi perubahan grafik hubungan beban – lendutan dari linier ke plastis disini menunjukkan bahwa tulangan geser telah luluh perlahan dan diikuti dengan luluhnya beton. Untuk nilai lendutan, balok BMT dengan variasi aditif dan substitusi agregat cenderung dapat menurunkan nilai lendutan balok beton mutu tinggi. Peningkatan lendutan yang terjadi pada BMT dengan variasi substitusi semen, agregat halus, dan agregat kasar sangat bervariasi. Nilai dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan Lendutan Balok BMT-N dengan Balok Variasi Substitusi Semen, Agregat Halus, dan Agregat Kasar

| No | Benda Uji Balok | Lendutan Maks | Perbandingan Lendutan Terhadap Lendutan BMT-N |             | Lendutan Teoritis |
|----|-----------------|---------------|-----------------------------------------------|-------------|-------------------|
|    |                 | (mm)          | Persen (%)                                    | Selisih (%) | (mm)              |
| 1  | BMT-N           | 9,490         | 100,000                                       | 0,000       | 8,983             |
| 2  | BMT-FBPP        | 7,670         | 80,822                                        | -19,178     | 10,114            |

Untuk nilai daktilitas, terjadi penurunan kualitas terhadap dua benda uji. Untuk BMT-N, nilai yang

didapatkan sebesar 1,394 dan untuk BMT-FBPP didapatkan nilai sebesar 1,313. Tetapi dengan selisih perbedaan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 6 % sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar. Nilai daktilitas dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Data Hasil Perhitungan Daktilitas Balok BMT-N dengan Variasi Substitusi Semen, Agregat Halus, dan Agregat Kasar

| No | Benda Uji Balok | Kondisi Luluh |                         | Kondisi Ultimit |                         | Daktilitas<br>$\mu = \Delta u / \Delta y$ | Perbandingan<br>Daktilitas Terhadap<br>BMT Normal (%) |
|----|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|    |                 | Beban (P)     | Lendutan ( $\Delta y$ ) | Beban (P)       | Lendutan ( $\Delta u$ ) |                                           |                                                       |
|    |                 | ton           | mm                      | ton             | mm                      |                                           |                                                       |
| 1  | BMT-N           | 21,890        | 6,810                   | 27,200          | 9,490                   | 1,394                                     | 100,000                                               |
| 2  | BMT-FBPP        | 19,100        | 5,840                   | 21,410          | 7,670                   | 1,313                                     | 94,246                                                |

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Dapat disimpulkan bahwa variasi aditif dapat digunakan untuk meningkatkan daktilitas beton mutu tinggi yang diketahui memiliki sifat yang getas atau nilai daktilitas yang rendah.
2. Nilai daktilitas dari keenam variasi aditif dan substitusi agregat tersebut menunjukkan flyash abu pozzolanik dan pasir pozzolan memiliki nilai yang terbaik dan sangat efektif digunakan dibandingkan yang lainnya.

### 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menambahkan faktor-faktor yang berpengaruh lainnya, sehingga dapat menghasilkan beton mutu tinggi menjadi lebih baik dari segi kekuatan juga dari segi lentur dan geser.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan bahan rujukan bagi kalangan akademisi dalam hal kebutuhan pergerakan (*trip generation*) untuk melihat dan memprediksi tingkat kebutuhan pergerakan pada suatu kawasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1997. SNI 03-4431-1997 Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Aulia, T.B. 2005. Effect of Polypropylene Fibers on The Properties of High Strength Concrete. *Lacer No. 7*, University of Leipzig, pp. 43 – 59.
- McCormac, J. C. 2003. *Desain Beton Bertulang*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E. G. 2005. *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar Cetakan II*. PT Refika Aditama, Bandung.
- Nurhasanah. 2010. Pengaruh Penggunaan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Lentur Beton Normal Dan Beton Mutu Tinggi. *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala*.
- Pratiwi, S. S. 2014. *Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi H3PO4 Terhadap Proses Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Sawit Untuk Mengolah Pome (Palm Oil Mill Effluent)*. Disertasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia.
- Pujianto, A. 2011. Beton Mutu Tinggi dengan Admixture Superplastisizer dan Aditif Silicafume. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol. 14, No. 2, pp. 177-185.