

# KAJIAN KETAHANAN KEJUT BETON RINGAN SERAT ALUMINIUM DENGAN AGREGAT ALWA

## *Study of Impact Resistance of Lightweight Aluminium Fiber Reinforced Concrete With Aggregate ALWA*

**Yanuar Haryanto**

e-mail : yanuar\_haryanto@yahoo.com

Program Sarjana Teknik Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

### **ABSTRACT**

*This research was aimed to know the addition of aluminium fiber influence to the impact resistance of lightweight concrete. In this research, lightweight concrete was made from cement, water, sand, ALWA (Artificial Lightweight Aggregate) and Superplasticizer, mix design method was Dreux-Corrise Method. The specimen was plate with 20 cm diameter and 4 cm high. Variation of aluminium fiber addition was 0%, 0,35%, 0,75% and 1% cement weight. The test was done after 28 days age of specimen.*

*The result showed that the most significant increasing of impact resistance was obtained on 0,75% aluminium fiber addition, which was 250% for first crack and 300% for failure.*

*Keywords : lightweight concrete, impact resistance*

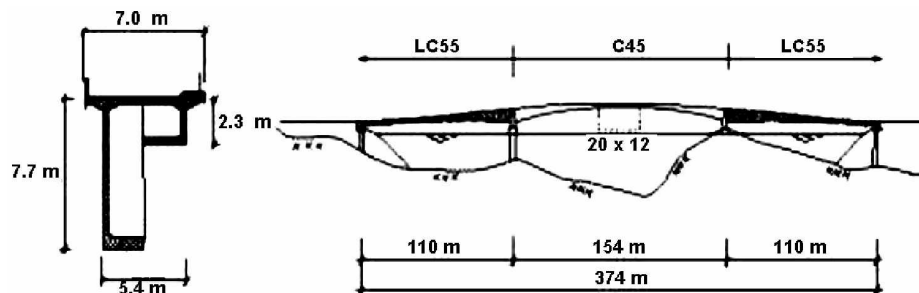
### **PENDAHULUAN**

Pemakaian beton ringan (*lightweight concrete*) sebagai bahan struktur dapat mendatangkan keuntungan tersendiri, yaitu mampu mereduksi beban yang akan diterima pondasi karena bobotnya yang ringan. Seiring dengan laju perkembangan teknologi beton dewasa ini, ditandai dengan banyak dipakainya bahan tambah (*admixtures*) dalam adukan beton yang dapat meningkatkan kekuatan beton tersebut, beton ringan dapat mempunyai kekuatan tekan hancur sampai dengan 500 kg/cm<sup>2</sup> (Yoza Yanuar Pribadi, 1997).

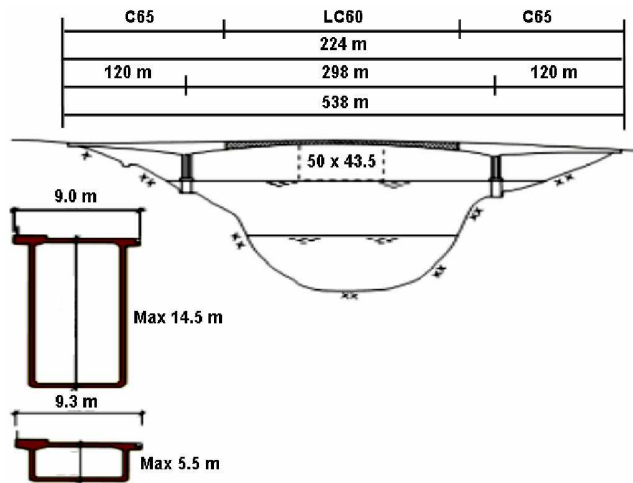
Beton ringan berkekuatan tinggi (*lightweight high strength concrete*) telah

digunakan pada beberapa konstruksi jembatan, khususnya di Eropa, Amerika Serikat dan Australia. Beberapa bangunan yang cukup terkenal antara lain adalah Jembatan Sandhornoya, Jembatan Sundoy, Jembatan Stolma, Jembatan Rugsund dan Jembatan Raftsundet di Norwegia (Karl Melby, 2003)

Bangunan-bangunan yang mempunyai fungsi tertentu seperti pabrik-pabrik, dermaga, pelabuhan, lapis perkerasan jalan dengan *rigid pavement*, dan struktur Sabo yang digunakan untuk mengontrol gerakan massa sedimen berupa pasir dan batu besar hasil letusan vulkanis gunung berapi, membutuhkan konstruksi beton yang memiliki ketahanan terhadap beban kejut yang cukup besar.



Gambar 1 Jembatan Sandhornoya.



Gambar 3 Jembatan Sundoy.

Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap beban kejut adalah dengan menambahkan serat ke dalam adukan beton. Menurut penelitian yang dilakukan Yoza Yanuar Pribadi (1997) beton ringan serat *polypropylene* dengan agregat *pumice* dapat meningkatkan ketahanan terhadap beban kejut sampai dengan 218 %.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya ketahanan kejut dari beton ringan serat alumunium dengan agregat ALWA.

## LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Neville, 1975 beton ringan (*lightweight concrete*) adalah beton yang mempunyai berat jenis di bawah  $2,0 \text{ ton/m}^3$ . Secara kasar beton ringan menurut berat jenisnya dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu.

- 1) Beton ringan dengan berat jenis antara  $0,3 \text{ ton/m}^3$  dan  $0,8 \text{ ton/m}^3$  yang biasanya dipakai sebagai bahan isolasi.
- 2) Beton ringan dengan berat jenis  $0,8 \text{ ton/m}^3$  dan  $1,4 \text{ ton/m}^3$  yang dipakai untuk struktur ringan.
- 3) Beton ringan dengan berat jenis  $1,4 \text{ ton/m}^3$  dan  $2,0 \text{ ton/m}^3$  yang dapat dipakai untuk struktur sedang.

Beton ringan dapat dibuat dengan tiga cara, yaitu.

- 1) Dengan pemakaian agregat ringan, misalnya agregat kasar ringan, agregat halus ringan, dan atau keduanya.

- 2) Dengan membuat gelembung-gelembung udara dalam adukan semen sehingga terjadi banyak pori-pori udara dalam beton. Beton jenis ini banyak dikenal sebagai beton teraerasi, *cellular*, *foamed*, atau gas.
- 3) Dengan menghilangkan agregat halus dari campuran sehingga dikenal sebagai beton tanpa pasir (*no-fines concrete*). Jadi beton ini hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja. Beton jenis ini mempunyai pori-pori yang hampir seragam.

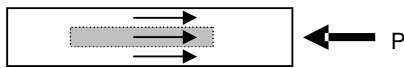
Berbagai macam agregat ringan yang dapat digunakan untuk membentuk beton ringan antara lain (Yoza Yanuar Pribadi, 1997).

- 1) *Pumice*  
Batuan alamiah yang merupakan hasil dari pembentukan vulkanik yang mempunyai berat satuan sebesar  $500-900 \text{ kg/m}^3$ .
- 2) Busa arang  
Dibuat dengan pemadaman arang dari dapur letus yang diproduksi oleh pabrik kasar.
- 3) *Clinker* dan *Breeze*  
Bahan yang diperoleh melalui pembakaran sempurna, memiliki massa yang keras, berinti dan mengandung sedikit bahan yang mudah terbakar.
- 4) Bahan-bahan yang mengembang  
Terbuat dari tanah liat dan batu tulis alamiah yang dibakar pada suhu  $1000-1200^\circ\text{C}$  sehingga mengembang dan menghasilkan bahan berpori ringan.

Beton serat (*fiber reinforced concrete*) didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus dan agregat kasar, serta sejumlah kecil serat yang disebar merata secara random.

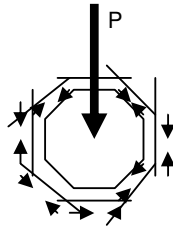
Mekanisme kerja serat dalam adukan beton secara bersama-sama, dapat dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Serat dalam beton akan membantu menahan beban yang ada sesuai dengan modulus elastisitasnya. Dengan modulus elastisitas serat aluminium sebesar 72.000 MPa dan modulus elastisitas beton di bawah 20.000 MPa, serat aluminium dapat meningkatkan kekuatan beton.



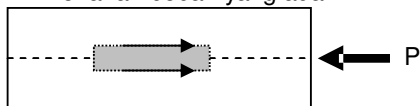
Gambar 3 Serat dalam beton.

- 2) Pasta beton akan semakin kokoh/stabil dalam menahan beban karena aksi serat (*fiber bridging*) yang saling mengikat di sekelilingnya.



Gambar 4 Aksi Serat bersama Pasta Semen.

- 3) Serat akan melakukan aksi pasak (*dowel action*) sehingga pasta yang sudah retak tetap stabil/kokoh menahan beban yang ada.

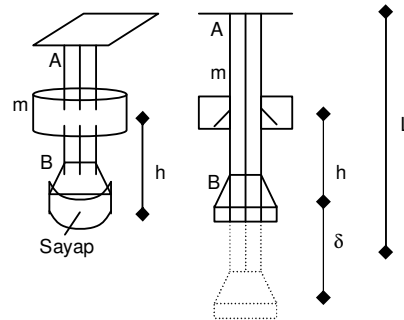


Gambar 5 Aksi pasak dalam beton.

*Superplasticizer* adalah bahan campur tambahan pengurang air yang sangat efektif. *Superplasticizer* memperbaiki sifat pengerjaan adukan beton tanpa harus menambah kadar air. Dosis yang disarankan adalah 1 sampai 2 % dari berat semen (Nawy, 1990). Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tekan pada beton.

Ketahanan kejut didefinisikan sebagai energi total yang diperlukan untuk membuat benda uji retak dan patah menjadi beberapa bagian, yang diketahui dari jumlah pukulan suatu massa yang dijatuhkan dari

ketinggian tertentu, seperti terlihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Beban kejut batang prismatik akibat jatuhnya benda bermassa m.

Menurut Gere dan Timoshenko (2000), prinsip konversi energi menyatakan bahwa energi potensial yang hilang pada saat jatuhnya massa sama dengan energi regangan yang timbul pada batang :

$$E_p = E_r \dots \dots \dots (1)$$

$$W(h + \delta) = \frac{EA\delta^2}{2L} \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan kuadrat di atas dapat dipecahkan untuk mencari akar positif yaitu:

$$\delta = \frac{WL}{EA} + \left[ \left( \frac{WL}{EA} \right)^2 + 2h \left( \frac{WL}{EA} \right) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan dengan menggunakan notasi :

$$\delta_{st} = \frac{WL}{EA} \dots \dots \dots (4)$$

dimana

$\delta_{st}$  = : perpanjangan batang akibat berat benda yang jatuh pada kondisi pembebanan statik.

Dengan memasukkan Persamaan 4 ke Persamaan 3 akan didapat :

$$\delta = \delta_{st} + \left[ (\delta_{st})^2 + 2h\delta_{st} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

Beban yang diterapkan secara tiba-tiba akan menyebabkan perpanjangan dua kali lebih besar dari perpanjangan yang disebabkan oleh beban yang diterapkan secara statik. Perpanjangan untuk kondisi seperti ini diperoleh dari Persamaan 5 dengan menetapkan h sama dengan nol :

$$\delta_{maks} = 2 \cdot \delta_{st} \dots \dots \dots (6)$$

Analog dengan teori di atas, maka rumus yang digunakan sebagai pendekatan perhitungan energi serapan adalah :

$$E_{maks} = 2.E_p \dots \dots \dots (7)$$

$$= 2.m.g.h$$

dimana :

$E_{maks}$  : energi serapan (joule)  
m : massa beban yang dijatuhkan (kg)  
g : gravitasi ( $m/d^2$ )  
h : tinggi jatuh (m)

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan mengadakan percobaan untuk mendapatkan hasil yang menunjukkan hubungan antara variabel yang ada. Variabel bebas adalah variasi penambahan serat alumunium dan variabel tak bebas adalah ketahanan kejut (*impact resistance*).

Benda uji berbentuk piringan berdiameter 20 cm dan tinggi 4 cm masing-masing berjumlah 3 buah untuk setiap variasi penambahan kadar serat alumunium. Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari, adukan beton yang dihasilkan dianggap homogen dan penyebaran serat dianggap merata.

## Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : timbangan, oven, ayakan, mesin penggetar ayakan, *conical mould*, kerucut abrams, cetakan benda uji, *vibrator*, mixer. Pengujian ketahanan kejut (*impact resistance*) menggunakan alat manual yang mengadopsi prinsip *drop – weight test*, yaitu dengan cara menjatuhkan beban seberat 1 kg dari ketinggian 47.5 cm.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : semen portland (PC) jenis I, pasir alam, agregat ringan buatan ALWA (*Artificial Lightweight Aggregate*), air, *superplasticizer*, serat alumunium dengan kadar 0 %, 0.35 %, 0.75 % dan 1 % dari berat semen.

## Rancang Campur

Rancang campur yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancang campur Metode *Dreux-Corrise* (Widi Hartono, 2001).

- 1) Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang diinginkan sebesar 27 MPa = 270 kg/cm<sup>2</sup>.
- 2) Ukuran butiran agregat termasuk sedang antara 10-15mm, mutu

agregat baik. Dari tabel penentuan nilai G berdasarkan dua syarat di atas diperoleh G sebesar 0,35.

Tabel 1 Nilai koefisien G

| Ukuran Butir Mutu Agregat | Kecil<br>$D < 101mm$ | Sedang<br>$10mm < D < 15mm$ |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Baik Sekali               | 0.45                 | 0.40                        |
| Baik                      | 0.40                 | 0.35                        |
| Sukup                     | 0.35                 | 0.30                        |

- 3) Berdasarkan rumus Bolomey :

$$\frac{C}{E} = \frac{\sigma'_{28}}{G \cdot \sigma'_s} + 0,5$$

dimana  $\sigma'_{28}$  yang disyaratkan adalah 270 kg/cm<sup>2</sup>.

G : 0,35

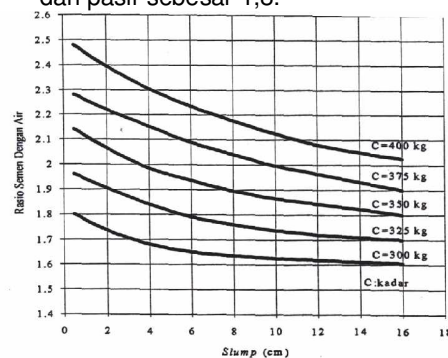
$\sigma'_s$  : kuat aduk semen Portland umur 28 hari sebesar 500 kg/cm<sup>2</sup>

$$\frac{C}{E} = \frac{270}{0.35 \times 500} + 0,5$$

$$\frac{C}{E} = 2$$

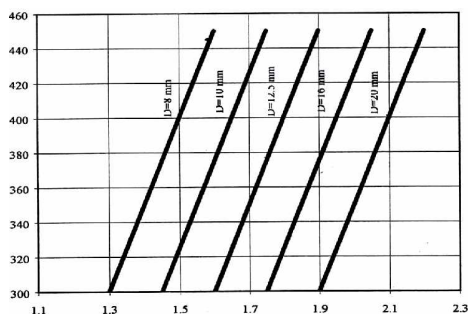
$$\frac{C}{E} = \frac{C}{W}$$

- 4) Nilai *slump* yang diinginkan adalah 10, sedangkan rasio semen dan air adalah 2, dari Gambar 7 akan diperoleh kebutuhan semen 375 kg.  $C/W = 2$  maka  $W = 187,5$  liter. Dengan kadar semen sebesar 375 kg/m<sup>3</sup> dan diameter agregat 10 -15 mm, maka dari Gambar 8 diperoleh rasio ALWA dan pasir sebesar 1,8.



Gambar 7 Penentuan kadar semen untuk berbagai nilai *slump*.

- 5) Dengan kadar semen sebesar 375 kg/m<sup>3</sup> dan diameter agregat 10 -15 mm, maka dari Gambar 8 diperoleh rasio ALWA dan pasir sebesar 1,8.



**Gambar 8** Penentuan rasio kerikil dengan pasir untuk berbagai kadar semen dan ukuran maksimum butiran kerikil.

- 6) Nilai kemampatan = faktor kemampatan x volume untuk nilai *slump* > 8 cm digunakan kemampatan 0,8  
 volume adukan 1 m<sup>3</sup> = 1000 L  
 kemampatan = 0,8 x 1000 = 800  
 $V_{ALWA} + V_{SAND} + V_{CEMENT} = 800 \text{ Liter (kemampatan)}$   
 $1,8 V_{SAND} + V_{SAND} + 119 = 800$   
 $V_{SAND} = 243 \text{ liter}$   
 $V_{ALWA} = 437 \text{ liter}$

**Tabel 2** Koefisien kemampatan beton untuk berbagai kondisi nilai *slump*

| Cara Pemampatan | Kekentalan Beton     |                        |                      |
|-----------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|                 | Kental<br>Slump <4cm | Plastis<br>Slump 4-8cm | Encerl<br>Slump >8cm |
| Dengan tangan   | -                    | -                      | 0.8                  |
| Digetar lemah   | -                    | -                      | 0.81                 |
| Digetar normal  | 0.84                 | 0.83                   | -                    |
| Digetar keras   | 0.85                 | -                      | -                    |

- 7) 1 m<sup>3</sup> beton ringan membutuhkan :  
 a) Semen PC type I = 375 kg  
 b) Pasir = 243 liter  
 c) ALWA = 437 liter  
 d) Air (FAS = 0,5) = 187,5 liter  
 8) Campuran beton ringan berserat aluminium berdasarkan pengamatan pada saat *trial mix* :  
 a) Semen PC type I = 375 kg  
 b) Pasir = 679 kg  
 c) ALWA = 648 kg  
 d) Air (FAS = 0.53) = 198,3 liter  
 e) *Superplasticizer* (Sika NN) = 1,2 % dari berat semen

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Material Pembentuk Beton

Hasil pengujian material pembentuk beton (agregat halus dan agregat kasar) disajikan dalam Tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3** Hasil pengujian material pembentuk beton

| Parameter Pengujian       | Agregat Halus (Pasir) | Agregat Kasar (ALWA) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|
| Kandungan zat organik     | 0%                    | -                    |
| Kandungan Lumpur          | 3.5%                  | -                    |
| Abrasi                    | -                     | 30.5%                |
| Bulk Specific Gravity     | 2.78                  | 1.31                 |
| Bulk Specific Gravity SSD | 2.80                  | 1.48                 |
| Apparent Specific Gravity | 2.88                  | 1.18                 |
| Absorption                | 1.38%                 | 13.73%               |
| Modulus halus             | 3.51                  | 5.84                 |

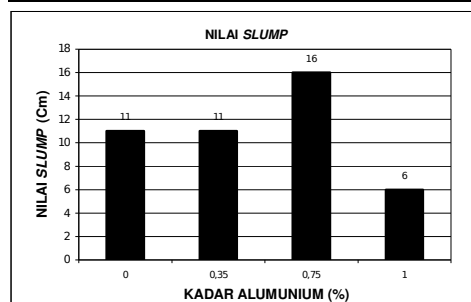
Hasil pengujian menunjukkan agregat halus dan agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat sebagai material pembentuk beton.

### Pengujian Slump

Pengujian *slump* menggunakan Kerucut Abrams dan bertujuan untuk mengetahui *workability* adukan beton. Nilai *slump* yang diperoleh pada pengujian disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 9 berikut ini

**Tabel 4** Hasil pengujian nilai *slump*

| Kadar Al (%)     | 0% | 0.35% | 0.75% | 1% |
|------------------|----|-------|-------|----|
| Nilai Slump (cm) | 11 | 11    | 16    | 6  |



**Gambar 9** Hasil pengujian nilai *slump*.

Hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan bahwa *workability* adukan beton berada pada tingkat tinggi. Sebelumnya pada campuran adukan ini ditambahkan *superplasticizer* agar diperoleh kemudahan dalam pengerjaannya.

**Tabel 5** Tingkat *workability* berdasarkan *slump test* (Murdock dan Brook, 1991)

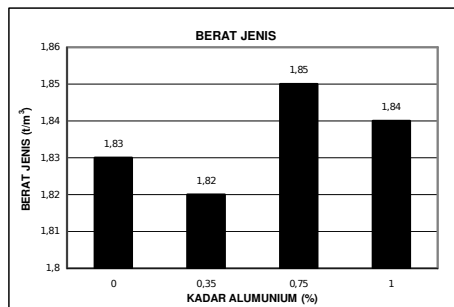
| Tingkat Workability  | Slump (mm) | Faktor pemadatan |
|----------------------|------------|------------------|
| Sangat rendah        | 0 – 25     | 0.80 – 0.87      |
| Rendah sampai sedang | 25 – 50    | 0.87 – 0.93      |
| Sedang sampai tinggi | 50 – 100   | 0.93 – 0.95      |
| Tinggi               | 100 – 175  | lebih dari 0.95  |

### Pengujian Berat Jenis

Berat jenis beton ringan berserat yang diperoleh disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 10 berikut ini.

**Tabel 4** Hasil pengujian nilai *slump*

| Kadar Al (%)                    | 0%   | 0.35% | 0.75% | 1%   |
|---------------------------------|------|-------|-------|------|
| Berat jenis (t/m <sup>3</sup> ) | 1.83 | 1.82  | 1.85  | 1.84 |



Gambar 10 Hasil pengujian berat jenis.

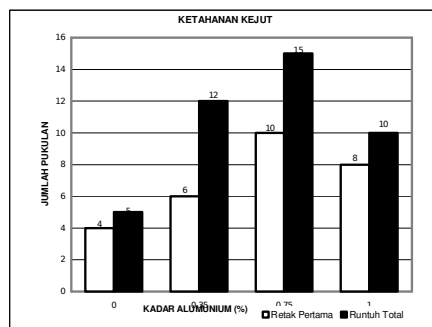
Hasil pengujian berat jenis beton menunjukkan bahwa beton yang dihasilkan masuk dalam rentang persyaratan beton ringan yaitu di bawah  $2.0 \text{ ton/m}^3$  dan dapat dipakai untuk struktur sedang (Neville, 1975).

### Pengujian Ketahanan Kejut

Dari pengujian diperoleh data jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat benda uji mengalami retak pertama dan runtuh total. Bersamaan dengan pengujian ketahanan kejut dilakukan juga pengamatan pola retak. Hasil pengujian ketahanan kejut disajikan dalam Tabel 7 dan Gambar 11 berikut ini.

Tabel 7 Hasil pengujian ketahanan kejut

| Kadar Aluminium | Pola Retak    |              | Jumlah Pukulan |              |
|-----------------|---------------|--------------|----------------|--------------|
|                 | Retak Pertama | Runtuh Total | Retak Pertama  | Runtuh Total |
| 0 %             |               |              | 4              | 5            |
| 0.35 %          |               |              | 6              | 12           |
| 0.75 %          |               |              | 10             | 15           |
| 1.0 %           |               |              | 8              | 10           |



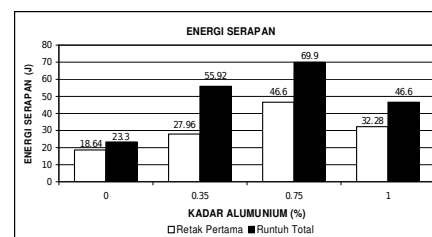
Gambar 11 Hasil pengujian ketahanan kejut.

### Analisis Energi Serapan

Energi serapan dihitung berdasarkan jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat benda uji mengalami retak pertama dan runtuh total. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 12 berikut ini.

Tabel 8 Hasil analisis energi serapan

| Kadar Al (%) | Jumlah pukulan retak pertama | Energi serapan (J) | Jumlah pukulan runtuh total | Energi serapan (J) |
|--------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| 0%           | 4                            | 18.64              | 5                           | 23.30              |
| 0.35%        | 6                            | 27.96              | 12                          | 55.92              |
| 0.75%        | 10                           | 46.60              | 15                          | 69.90              |
| 1%           | 8                            | 32.28              | 10                          | 46.60              |



Gambar 12 Hasil analisis energi serapan.

Pengamatan terhadap ketahanan kejut dan analisis terhadap energi serapan menunjukkan terjadinya peningkatan sampai dengan kadar serat tertentu. Peningkatan tersebut disebabkan karena beton dan serat secara satu kesatuan membentuk material komposit yang stabil. Material komposit ini secara bersama-sama memberikan reaksi untuk menahan beban kejut. Serat yang ada dalam adukan beton berperan sebagai bagian yang menahan retak dan perkembangan retak. Pada saat beton mengalami retak (*cracking*), serat mengalami pelepasan dari bahan beton (*fiber debonding*) dan terjadi proses dimana serat menahan gaya tarik sampai kekuatan maksimum serat terlampaui. Pada saat serat menegang (*fiber bridging*), serat menyerap energi yang diakibatkan oleh bekerjanya beban sehingga seolah-olah serat menahan beban tambahan yang diberikan.

### KESIMPULAN

- Peningkatan ketahanan kejut (*impact resistance*) dan energi serapan paling signifikan diperoleh dari penambahan serat aluminium 0,75% yaitu 10 pukulan (46,60 J) atau meningkat 250% untuk retak pertama dan 15 pukulan (69,90 J) atau meningkat 300% untuk runtuh total.

2. Pada penambahan serat alumunium 1,0% tingkat *workability* menurun sehingga adukan beton sukar dipadatkan dan beton yang dihasilkan bersifat keropos sehingga mengakibatkan ketahanan kejut (*impact resistance*) dan energi serapan mengalami penurunan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Gere Dan Timoshenko, 2000, *Mekanika Bahan*, Edisi Keempat Jilid Satu, Erlangga, Jakarta.
- Karl Melby, 2003, *Long Span Bridges with Leighweight Concrete in Norway*, Norwegian Directorate of Public Roads, Oslo.
- Murdock L.J. and Brook K.M., 1991, *Bahan dan Praktek Beton*, (Terjemahan oleh S. Hindarko), Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.G, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Eresco, Bandung.
- Neville, A.M., 1975, *Properties of Concrete*, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Sudarmoko dan Pribadi, 1998, *Kuat Tekan, Ketahanan Kejut, dan Modulus Elastik Beton Ringan Serat Polypropylene Dengan Agregat Pumice*, Jurnal Penelitian Forum Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Widi Hartono, 2001, *Merancang Beton Ringan dengan Metode Dreux-Corrise*, Jurnal Penelitian Media Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS, Surakarta.
- Yoza Yanuar Pribadi, 1997, *Sifat-Sifat Struktural Beton Ringan Serat Polypropylene dengan Agregat Pumice*, Program Sarjana UGM, Yogyakarta.