

## Kapasitas Lentur Beton Berserat Abaca

**Herman Tumengkol<sup>1</sup>, Reiner Tampi<sup>2</sup>, Wellem Toad<sup>3</sup>, Nixon Mantiri<sup>4</sup>**

Program Studi Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri  
Manado<sup>1,2,3,4</sup>

E-mail: [tumengkolherman@yahoo.co.id](mailto:tumengkolherman@yahoo.co.id)

### **Abstrak**

*Studi penelitian ini membahas tentang kapasitas lentur balok beton tanpa tulangan menggunakan serat abaca terhadap balok beton normal. Metode pencampuran beton berserat abaca yang digunakan dalam pencampuran ini adalah metode pencampuran kering. Penambahan serat abaca untuk campuran beton dilakukan dengan komposisi serat abaca 0%, 0,15%, 0,20%, 0,25% dengan panjang serat 50 mm. Benda uji dengan dimensi lebar 100 mm x tinggi 100 mm dan panjang 400 mm, diuji setelah benda uji mencapai umur 28 hari pada alat Universal Testing Machine (UTM) dan dievaluasi melalui standart ASTM dalam pengujian kuat lentur. Kapasitas kekuatan lentur pengaruhi oleh volume serat dimana volume serat sampai batas tertentu akan memberikan kuat lentur yang optimal. Hasil yang didapat dari campuran beton berserat abaca untuk uji lentur balok berserat abaca dengan panjang serat 50 mm dan volume serat 0,15% merupakan hasil yang terbaik dimana terjadi peningkatan sebesar 40,19 % terhadap balok beton normal.*

**Kata kunci:** Beton normal, serat abaca, uji lentur

### **1. PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi konstruksi dewasa ini menuntut adanya peningkatan kualitas beton yang lebih baik, lebih kuat, dan lebih awet. Beton normal yang sering dipakai saat ini menurut SNI 2847-2019 memiliki berat 2200-2500 kg/m<sup>3</sup>. Komposisi campuran pembentuk beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah bila diperlukan. Material yang dipakai harus dihitung terlebih dahulu (*mix design*), agar mudah dalam pengerjaannya dan mendapatkan kekuatan sesuai yang direncanakan (Tjokrodimulyo, 1996).

Untuk meningkatkan daktilitas dan kuat lentur beton, dapat ditambah dengan bahan tambah serat (*fiber*) yang disebut beton serat (*fibere reinforced concrete*). Dengan penambahan serat pada campuran beton akan berpengaruh baik terhadap sifat dari beton itu sendiri. Dari hasil pengujian Suhndro (1992) menyatakan bahwa dengan pemberian serat ke dalam campuran beton akan berpengaruh terhadap penurunan kelecakan (*workability*) yang cukup maksimal. Hal yang perlu diperhatikan agar hasil optimal dapat tercapai adalah panjang serat dan diameter serat.

Hasil penelitian Sayed (2014) diperoleh yaitu penambahan serat fiber dalam adukan beton akan berpengaruh terhadap kekakuan dan mengurangi nilai lendutan (defleksi) yang terjadi.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Serat abaca (*abaca fiber*)

Abaca (*musa textillis nee*), merupakan tumbuhan alami yang termasuk *family musacease* (tanaman pisang), tanaman ini mulai dipakai tahun 1519 di negara Filipina. Tumbuhan pisang abaca ini merupakan tanaman pisang yang tidak menghasilkan buah atau disebut pisang jantan (tidak menghasilkan buah). Serat tanaman pisang tahan terhadap air garam, sehingga banyak juga digunakan untuk produksi tali kapal (Sudjendro, 1999).

Dengan perkembangan teknologi dibidang rekayasa material saat ini, maka berbagai terobosan untuk menciptakan material-material yang berkualitas tinggi serta ramah lingkungan. Penambahan bahan tambah serat di dalam adukan beton disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), serat kaca (*glass*), serat kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan seperti: abaca, rami, sabut kelapa, bambu, ijuk. Serat abaca adalah serat yang terkuat dari semua serat alami lainnya dengan kekuatan tarik yang tinggi dan kekuatan lipat, daya apung, porositas tinggi, ketahanan terhadap kerusakan air asin, dan panjang serat 2 - 4 meter. Pada Tabel 1, dapat dilihat tentang perbandingan sifat fisik dari abaca dengan serat alam lainnya (Vijayalakshmi, 2014).

**Tabel 1.** Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat alami lainnya

| Physical properties                  | Abaca   | Hemp    | Jute      | Sisal   | Linen       | Cotton   |
|--------------------------------------|---------|---------|-----------|---------|-------------|----------|
| Density (g/cm <sup>3</sup> )         | 1,5     | 1,48    | 1,46      | 1,33    | 1,4         | 1,54     |
| Fibre length                         | 2-4 mtr | 1-2 mtr | 3-3,5 mtr | 1 mtr   | Up to 90 cm | 10-65 mm |
| Fibre diameter (microns)             | 150-260 | 16-50   | 60-110    | 100-300 | 12-60       | 11-22    |
| Tensile strength (N/m <sup>2</sup> ) | 980     | 550-900 | 400-800   | 600-700 | 800         | 400      |
| Elongation                           | 1,1%    | 1,6%    | 1,8%      | 4,3%    | 2,7-3,5%    | 3-10%    |
| Moisture regain                      | 5,81%   | 12%     | 13,75%    | 11%     | 10-12%      | 8,5%     |
| Young's modulus (GPa)                | 41      | 30-60   | 20-25     | 17-22   | 50-70       | 6-10     |

### 2.2 Uji kekuatan lentur

Benda uji balok beton diuji lentur menggunakan mesin kompresi berkaitan dengan defleksi sesuai standart ASTM C293-2019. Defleksi benda uji dicatat dengan dua LVDT (*Linear Voltage Displacement Transducers*). Kedua LVDT dipasang di samping pertengahan bentang untuk merekam perpindahan vertikal benda uji balok tersebut. Setelah mencapai beban maksimum, benda uji menunjukkan kegagalan dengan retak menjadi dua segmen. Nilai dari modulus rupture dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Dimana **R** adalah *modulus rupture* di ukur dalam satuan mega Pascal (MPa), **P** adalah beban maksimum pada saat kegagalan benda uji yang ditunjukkan oleh mesin uji dalam satuan Newton (N), **L**, adalah panjang benda uji antara dua tumpuan dalam satuan milimeter ( mm) sedangkan **b**, dan **d** adalah lebar dan kedalaman masing-masing benda uji dinyatakan dalam satuan mm.

### 2.3 Beton berserat (*fiber reinforced concrete*)

Beton bertulang berserat (*fibre reinforced concrete*) didefinisikan sebagai bahan beton yang dibuat dari bahan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan sejumlah serat (*fiber*) yang tersebar secara acak dalam matriks campuran beton segar (Hannant, 1978).

Jenis-jenis serat menurut ACI :

- a. Serat-serat logam, seperti serat baja karbon atau serat baja tahan karat
- b. Serat-serat sintesis (*acrylic, aramid, nylon, polyester, polypropylene, carbon*)
- c. Serat-serat gelas (*glass fibre*)
- d. Serat-serat alami (ijuk, rami, ampas kayu, jerami, sisal, sabut kelapa, abaca)

#### 2.4 Perilaku beton berserat

Beton berserat berperilaku yang ditentukan oleh hal-hal yaitu:

- a) Sifat-sifat fisik serat dan matriks  
Penentuan kemampuan bahan serat berhubungan dengan sifat fisik serat, matriks dan kekuatan lekatan diantara keduanya. Tegangan rata-rata serat umumnya berilai dua sampai tiga kali lebih besar dari tegangan runtuh matriks, hal ini akan menyebabkan beton retak sebelum kuat tarik maksimum serat tercapai.
- b) Pengaruh Panjang dan Diameter Serat.  
Perbandingan antara panjang dan diameter serat (aspek ratio) akan mempengaruhi lekatan antara serat dengan matriks. Serat dengan rasio  $l/d > 100$  mempunyai lekatan dengan beton yang lebih besar dibandingkan dengan serat yang pendek dengan rasio  $l/d < 50$ . Menurut Hannant (1978), hasil pengujian untuk  $l/d < 50$  menyebabkan serat akan lebih mudah tercabut dari beton. Peningkatan aspek rasio serat akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik maupun lentur beton, sama halnya dengan penambahan volume serat ke dalam campuran beton.
- c) Ukuran maksimum matriks  
Ukuran maksimum matriks akan mempengaruhi distribusi dan kuantitas serat yang dapat masuk ke dalam komposit. Dari pengujian diperoleh rata-rata ukuran agregat partikel  $\pm 10-30$  mikron, sedangkan ukuran agregat maksimum agregat untuk adukan 5 mm. Agregat dalam komposit tidak boleh lebih besar dari 20 mm dan disarankan lebih kecil dari 10 mm, yang bertujuan agar serat dapat tersebar dengan merata. Untuk menghindarkan terjadinya rongga, pada benda uji disarankan untuk memakai bahan pengisi (agregat campuran) paling sedikit 50 % dari volume beton.
- d) Perilaku sifat mekanik beton berserat  
Parameter yang diperoleh dari pengujian tekan terhadap beton berserat antara lain: modulus elastisitas, beban hancur maksimum. Dari hasil pencatatan defleksi diperoleh nilai regangan yang terjadi pada saat beban maksimum dan perilaku kurva beban (P) dengan defleksi ( $\delta$ ) atau perilaku kurva tegangan-regangan. Perubahan modulus elastisitas akibat penambahan serat sangat kecil. Penambahan serat pada beton normal dapat meningkatkan tegangan pada beban puncak. Beton berserat menyerap energi yang lebih besar daripada beton normal sebelum hancur (*failure*). Peningkatan terhadap daktilitas dengan penambahan serat pada beton normal tergantung pada beberapa faktor seperti : geometri serat, volume fraksi serat dan komposisi bahan penyusun matriks sendiri. Peningkatan volume serat dapat meningkatkan kapasitas peningkatan energi. Peningkatan penyerapan energi ini terjadi hanya pada batasan 0 – 0,7 % volume fraksi, apabila kandungan serat dinaikkan lagi sehingga fraksinya menjadi lebih besar dari 0,7 %, maka kenaikan energi yang terjadi tidak terlalu besar. Beton bermutu tinggi lebih getas (*brittle*) dibandingkan dengan beton normal, dan dengan penambahan serat dihasilkan beton yang lebih daktil.
- e) Mekanisme kontribusi serat terhadap beban lentur  
Dalam aplikasinya, beton berserat lebih banyak digunakan sebagai elemen penahan beban lentur dibandingkan penahan akibat beban lainnya. Hasil percobaan menunjukkan peningkatan kuat lentur lebih tinggi daripada kuat tekan atau kuat tarik belah. Peningkatan kuat lentur sangat dipengaruhi oleh volume fraksi dan aspek rasio serat. Peningkatan volume fraksi sampai batas tertentu akan meningkatkan kuat lentur beton, demikian pula dengan aspek rasio serat.
- f) Daktilitas (*flexural toughness*)

Salah satu alasan penambahan serat pada beton adalah untuk menaikkan kapasitas penyerapan energi dari matrik campuran, yang berarti meningkatkan daktilitas beton. Penambahan daktilitas juga berarti penambahan perilaku beton terhadap *fatigue* dan *impact*.

### 3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah studi eksperimental laboratorium yang didasarkan pada perkuatan desain campuran beton menggunakan serat abaca dengan pengujian lentur balok beton.

#### 3.1 Proporsi campuran

Proporsi campuran pada Tabel 2 didasarkan pada sifat fisik yang ditetapkan dari bahan sesuai standart SNI 4431-2011 dan spesifikasi menggunakan dasar desain metode berat.

**Tabel 2.** Proporsi Campuran

| Benda uji  | Benda uji<br>(bh) | Air/Semen<br>(%) | Agregat<br>(kg) | Pasir<br>(kg) | Semen<br>(kg) | Air<br>(kg) | Serat<br>(kg) |
|------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| NC-00-000  | 9                 | 0,6              | 26,7            | 16,1          | 10,2          | 6,3         | 3,56          |
| FC-50-0,15 | 3                 | 0,6              | 26,7            | 16,1          | 10,2          | 6,3         | 7,07          |
| FC-50-0,20 | 3                 | 0,6              | 26,7            | 16,1          | 10,2          | 6,3         | 5,86          |
| FC-50-0,25 | 3                 | 0,6              | 26,7            | 16,1          | 10,2          | 6,3         | 5,29          |

#### 3.2 Desain benda uji

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Metode campuran beton berserat abaca dilakukan dengan metode pencampuran kering. Untuk dimensi benda uji balok dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm untuk pengujian lentur dengan jumlah sampel balok 18 benda uji.

#### 3.3 Pengujian karakteristik agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan dengan maksud untuk mengetahui apakah agregat kasar dan halus yang akan digunakan untuk pengecoran sudah memenuhi spesifikasi berdasarkan Suhendro (1992) untuk pembuatan benda uji. Jenis pengujian yang dilakukan diantaranya adalah analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume dan rongga udara, kadar air, kadar lumpur, dan kadar organik. Pada Tabel 3 dimana setiap pengujian dilakukan dengan metode berdasarkan Suhendro (1992).

**Tabel 3.** Metode Pengujian Karakteristik Agregat

| Pengujian                      | Metode pengujian |                  |
|--------------------------------|------------------|------------------|
|                                | Agregat halus    | Agregat kasar    |
| Analisa saringan               | SNI 03-1968-1990 |                  |
| Berat jenis dan penyerapan air | SNI 03-1970-1990 | SNI 03-1969-1990 |
| Berat volume dan rongga udara  | SNI 03-4804-1998 |                  |
| Kadar air                      | SNI 03-1971-1990 |                  |
| Kadar lumpur                   | SNI 03-4142-1996 |                  |
| Kadar organik                  | SNI 03-2816-1992 |                  |

### 3.4 Penyiapan serat

Proses penyiapan serat abaca dilakukan secara manual menggunakan tangan, dipotong menggunakan gunting dengan panjang serat 50 mm yang akan dicampurkan ke dalam beton segar dengan volume serat 0,25 % dari berat beton.



**Gambar 1.** Serat abaca dengan panjang 50 mm

### 3.5 Metode campuran kering beton menggunakan serat abaca

Penelitian proses pencampuran kering dilakukan dengan *concrete mixer* (mesin pengaduk beton) dimana untuk mendapatkan mutu beton yang baik, pelaksanaan di lapangan harus baik dan benar. Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Alat-alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil *mix design*.
2. Menimbang semen, serat abaca, agregat kasar dan halus, dan air yang telah ditentukan dengan *mix design* sebelum dimasukkan ke dalam *concrete mixer*.
3. Menyiapkan *concrete mixer* dimana *concrete mixer* terlebih dahulu dibasahi dengan air agar ketika pencampuran dilakukan, komposisi air yang telah dihitung tidak berkurang akibat penyerapan dinding *concrete mixer*.
4. Lalu masukkan agregat kasar, agregat halus, semen, dan serat abaca, masing-masing 1/3 bagian, aduk hingga bahan tersebut tercampur secara merata.



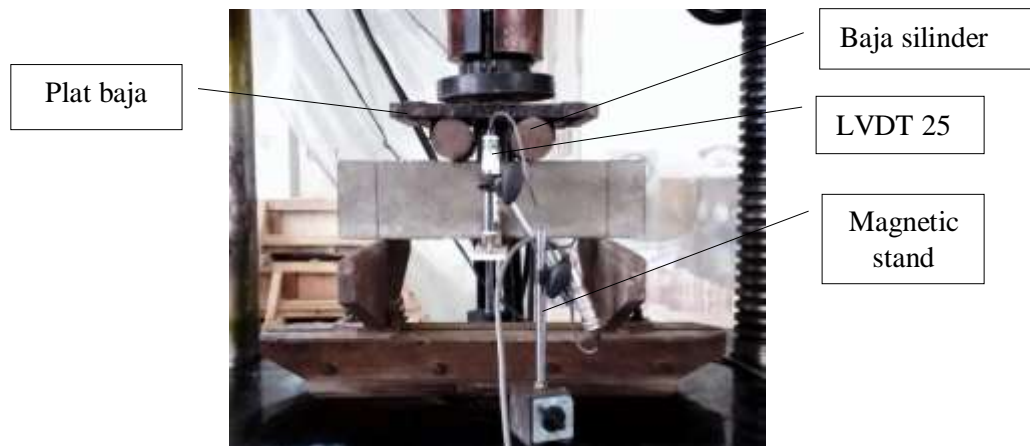
**Gambar 2.** Pencampuran serat abaca ke dalam *concrete mixer*

5. Masukkan air lalu putar *mixer* selama 3 menit kemudian tunggu hingga menghasilkan campuran beton yang homogen.
6. Setelah tercampur rata, dilakukan uji *slump* untuk mengukur tingkat *workability* adukan. Selanjutnya adukan beton dituangkan ke dalam cetakan balok, lalu ditumbuk pada semua sisi beton dan digetarkan sehingga beton menjadi padat dan rongga udara didalam cetakan keluar, kemudian ratakan permukaan beton balok tersebut.
7. Diamkan selama 24 jam, lalu cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan beton (*curing*).

### 3.6 Pengujian kuat lentur

Pengujian kuat lentur beton dilakukan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas 1000 kN, pengujian kuat lentur dilakukan berdasar (ASTM C278-2015). Prosedur pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut:

1. Mengangkat sampel beton dari bak perendaman yang telah mencapai umur pengujian, lalu diamkan sampel beton untuk beberapa saat hingga kering permukaan lalu timbang sampel.
2. Buat garis melintang sebagai tanda dan petunjuk titik perletakan dan titik pembebanan.
3. Nyalakan mesin uji tekan beton yang telah dipersiapkan.
4. Tempatkan benda uji yang sudah diberi tanda diatas dua perletakan sedemikian hingga tanda untuk tumpuan yang dibuat pada benda uji yang berjarak 300 mm tepat pada pusat tumpuan dari alat uji. Atur sedemikian rupa sehingga pada saat beban diberikan kedua titik penekan jatuh ditengah-tengah sampel. Jarak antar titik penekan sebesar 100 mm.
5. Setelah posisi sampel terpasang dengan baik, lakukan pengujian.
6. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang dicapai ketika terjadi patahan pada benda uji
7. Catat hasil pengujian lalu lakukan percobaan setiap sampel dengan cara yang sama.



**Gambar 3.** Pengujian kuat lentur balok

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil pengujian karakteristik agregat

Pemeriksaan agregat untuk pembuatan beton serat abaca dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado. Pengujian agregat berupa agregat kasar (kerikil) ukuran 10 mm – 20 mm dan agregat halus (pasir). Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pemeriksaan Agregat

| No. | Jenis pengujian   | Agregat halus | Agregat kasar | Satuan   |
|-----|-------------------|---------------|---------------|----------|
| 1   | Kadar Lumpur      | 4.65          | 0.38          | %        |
| 2   | Berat Jenis       |               |               |          |
|     | a. BJ Semu        | 2.35          | 2.98          | -        |
|     | b. BJ SSD         | 2.28          | 2.83          | -        |
|     | c. BJ Kering oven | 2.31          | 2.75          | -        |
|     | d. Penyerapan air | 1,42          | 2.85          | %        |
| 3   | Berat Isi         |               |               |          |
|     | a. Padat          | 1.81          | 1.83          | Kg/liter |
|     | b. Lepas          | 1.78          | 1.80          | Kg/liter |
| 4   | Kadar Organik     | No.2          | -             | -        |
| 5   | Keausan           | -             | 23.24         | %        |
| 6   | Modulus Kehalusan | 2.66          | -             | -        |
| 7   | Modulus Kekasaran | -             | 7             | -        |

#### 4.2 Hasil pengujian kapasitas lentur

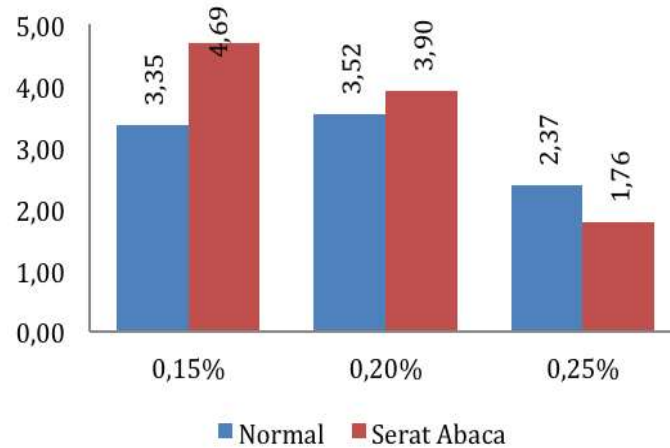
Setelah mencapai usia curing yang diinginkan (28 hari) dari benda uji beton yang berbeda dengan berbagai panjang dan proporsi serat, benda uji dikeluarkan dari kolam rendaman dan menjalani serangkaian pengujian yang sesuai standart (Magdamo, 1998). Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian kapasitas lentur balok normal dan balok beton dengan penambahan serat abaca.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Kapasitas Lentur Balok Normal Dan Balok Berserat Abaca

| Volume serat | Panjang serat | Kapasitas lentur beton normal (MPa) | Kapasitas lentur Beton Serat (MPa) |
|--------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 0.15 %       | 50 mm         | 3,01                                | 4,18                               |
|              |               | 3,68                                | 4,92                               |
|              |               | 3,35                                | 4,98                               |
| Rata-rata    |               | 3,35                                | 4,69                               |
| Persentase   |               | (+) 40,19 %                         |                                    |
| 0.20%        | 50 mm         | 3,63                                | 3,96                               |
|              |               | 3,23                                | 4,11                               |
|              |               | 3,71                                | 3,64                               |
| Rata-rata    |               | 3,52                                | 3,90                               |
| Persentase   |               | (+) 10,77 %                         |                                    |
| 0.25 %       | 50 mm         | 2,27                                | 1,47                               |
|              |               | 2,34                                | 1,91                               |
|              |               | 2,51                                | 1,91                               |
| Rata-rata    |               | 2,37                                | 1,76                               |
| Persentase   |               | (-) 34,52 %                         |                                    |

Dari Tabel 5 hasil pengujian pada variasi beton dengan penambahan serat abaca dengan panjang serat 50 mm di atas dapat dilihat bahwa untuk variasi penambahan serat 0,15 % dengan panjang serat 50 mm menghasilkan nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 4,69 MPa sedangkan pada variasi beton dengan penambahan serat 0,20% dengan panjang serat 50 mm menunjukkan

nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 3,90 MPa. Kemudian untuk variasi beton dengan penambahan serat 0,25% dengan panjang serat 50 mm menunjukkan nilai kapasitas lentur rata-rata sebesar 1,76 MPa. Pada panjang serat 50 mm dengan penambahan serat 0,15% mengalami kenaikan nilai kapasitas lentur sebesar 40,19 % dari nilai kuat lentur beton normalnya.



**Gambar 4.** Hasil pengujian kapasitas lentur

Beton normal sendiri terdiri dari tiga variasi beton normal bergantung pada variasi volume serat abaca yang dicampurkan ke beton. Hal ini disebabkan karena adanya penyerapan air oleh serat sehingga pada saat pengecoran volume air dari *mix design* di tambah sesuai dengan penambahan air pada pengecoran beton menggunakan serat abaca.

Berdasarkan hasil pengujian kapasitas lentur dapat dilihat pada Gambar 4, dimana kekuatan lentur beton serat abaca sangat dipengaruhi oleh panjang dan volume serat. Dari Tabel 5 dapat dilihat perbandingan hasil nilai kapasitas lentur antara beton normal dengan beton dengan penambahan serat abaca dimana untuk kapasitas lentur variasi panjang 50 mm dengan penambahan serat 0,15% merupakan hasil yang terbaik dimana terjadi peningkatan sebesar 40,19 % dari beton normal.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat abaca pada proses campuran beton yang dimanfaatkan sebagai perkuatan pada beton dan dievaluasi melalui uji lentur, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kapasitas lentur beton serat abaca untuk variasi panjang 50 mm dengan penambahan serat 0,15% merupakan hasil yang terbaik dimana terjadi peningkatan sebesar 40,19 % dari beton normal.
2. Peningkatan kapasitas lentur sangat dipengaruhi oleh volume serat dimana penambahan volume serat sampai batas tertentu akan memberikan kuat lentur beton yang optimal.

## 6. SARAN

Penelitian beton yang menggunakan serat abaca sebagai bahan tambah sebaiknya menggunakan bahan tambah lainnya seperti superplasticizer agar variasi serat abaca dapat dibandingkan



dengan hanya satu variasi beton normal

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado dan Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang turut berkontribusi dalam penulisan artikel ini. Demikian juga kepada Politeknik Negeri Manado atas dana penelitian internal melalui skema penelitian mandiri tahun 2020.

### DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544, (1997). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, *ACI 544.1R-96*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ASTM C293M, (2016). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)
- ASTM Standards, (2015). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* ASTM C78/C78M-15a. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Hannant, D.J., (1978), *Fiber Cements and Fiber Concretes*, Chicester: John Wiley & Sons.
- Magdamo, R.V. (1998). *An Analysis of the Abaca Natural Fiber in Reinforcing Concrete Composites as a Construction Material in Developing Countries*, University of Northern Iowa, Cedar Fall, University Microfilms International, 1998.
- Sayed M., (2014), Investigation on the possible application of Natural fibres (Abaca fibres) as reinforcement in concrete to create ductility, *Department of Materials and Environment, Delft University of technology*, May, 2014.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. SNI 4431-2011. Badan Standarnisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847-2019. Badan Standarnisasi Nasional.
- Sudjendro. (1999). Abaca (*Musa textilis* Nee): Potensi, pola pengembangan dan Masalahnya. *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri*, Vol. 5 No.3
- Suhendro B. (1992). *Ketahanan Kejut (Impact Resistance) Beton Fiber Lokal Dan Kemungkinan Aplikasinya Pada Struktur – Struktur Sabo Untuk Penanggulangan Bahaya Gunung Berapi*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Tjokrodimulyo K. (1996). *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Jakarta.
- Vijayalakshmi, 2014. Abaca Fiber. Sumber: *Transactions on engineering and sciences* Vol.2, Issue 9, September.