

## Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Kawat

Mufti Amir Sultan<sup>1)</sup>, Raudha Hakim<sup>2)</sup>, Badordin Muchtar<sup>3)</sup>, Julham Adingku<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun

<sup>4)</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Khairun

Email: [muftiasltn@unkhair.ac.id](mailto:muftiasltn@unkhair.ac.id)<sup>1)</sup>, [raudhahakim@ymail.com](mailto:raudhahakim@ymail.com)<sup>2)</sup>, [badordinmuhtar125@gmail.com](mailto:badordinmuhtar125@gmail.com)<sup>3)</sup>, [adingkujulham@gmail.com](mailto:adingkujulham@gmail.com)<sup>4)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.783>

(Received: June 2022 / Revised: August 2022 / Accepted: August 2022)

### Abstrak

Beton ringan merupakan pilihan yang baik bagi daerah rawan gempa. Batu apung dan pasir batu apung dapat digunakan sebagai agregat beton ringan. Penggunaan agregat ini dapat mereduksi berat beton namun juga mengakibatkan penurunan kuat tekan dan kuat lenturnya. Untuk memperbaiki penurunan kuat tekan dan kuat lentur perlu dilakukan inovasi, seperti dengan penambahan serat ke dalam campuran beton. Dalam penelitian ini digunakan benda uji berbentuk balok dengan dimensi 15x15x60 cm. Serat kawat bendrat ditambahkan ke dalam campuran beton ringan dengan komposisi sebesar 7,5% terhadap berat benda uji. Pengujian lentur dengan pembebanan *twopoint load*, balok dibebani sampai mencapai kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kuat lentur pada balok beton ringan dengan penambahan serat kawat bendrat (BR-S) dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 18,12% terhadap beton ringan tanpa serat kawat bendrat (BR). Koefisien hubungan kuat lentur dan kuat tekan (K) adalah 0,70 sesuai dengan SNI 2843.

Kata Kunci: *Beton Ringan, Kuat Lentur, Batu Apung, Pasir Batu Apung*

### Abstract

Lightweight concrete is a good choice for earthquake prone areas. Pumice stone and pumice sand can be used as lightweight concrete aggregates. The use of this aggregate can reduce the weight of concrete but also result in a decrease in its compressive strength and flexural strength. To improve the decrease in compressive strength and flexural strength, innovations need to be made, such as by adding fiber to the concrete mix. In this study used a beam-shaped test object with dimensions of 15x15x60 cm. Bendrat wire fibers are added to the lightweight concrete mixture with a composition of 7.5% of the weight of the test object. Flexural testing with a two point load, the beam is loaded until it reaches failure. The test results show that the flexural strength of lightweight concrete beams with the addition of bendrat wire fibers (BR-S) can increase the bending strength by 18.12% against lightweight concrete without bendrat wire fibers (BR). The coefficient of the relationship between flexural strength and compressive strength (K) is 0.70 according to SNI 2843.

Keywords: *Lightweight Concrete, Flexural Strength, Pumice Stone, Pumice Sand*

### 1. Latar Belakang

Berdasarkan pembagian wilayah gempa, sebagian besar wilayah Indonesia termasuk ke daerah rawan gempa. Pemilihan material dalam struktur bangunan menjadi penting, mengingat struktur ini akan memberikan beban terbesar dalam

bangunan berupa beban mati. Beban permanen yang besar akan membuat beban efektif gempa sangat mempengaruhi keruntuhan struktur itu sendiri. Penggunaan beton dapat mengurangi beban mati dalam hal ini bobot sendiri bangunan menjadi lebih ringan, yang akan membuat bangunan lebih aman terhadap beban gempa. Selain itu, dengan mengurangi beratnya sendiri, meringankan struktur pondasi bangunan dengan menerima beban vertikal, sehingga ukuran pondasi dapat diperkecil. Beberapa peneliti telah melakukan banyak penelitian untuk mendapatkan beton ringan yang dapat digunakan dalam pembangunan infrastruktur, terutama jika bangunan tersebut berada di daerah dengan risiko gempa yang tinggi. Beton ringan adalah beton dengan berat jenis kurang dari  $1850 \text{ kg/m}^3$  (SNI 3349, 2002) sedangkan pada beton biasa  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Salah satu material yang dapat digunakan dalam pembuatan beton ringan dengan memanfaatkan batu apung (*pumice*) sebagai agregat kasar dan pasir batu apung (*pumice sand*) sebagai agregat halus. Batu apung merupakan material yang banyak di Indonesia dengan wilayah persebaran Jambi, Lampung, Jawa Barat, Banten, Jogjakarta, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur dan Maluku Utara (Sukandarrumidi, 2009). Untuk wilayah Maluku Utara deposit batu apung berada di Pulau Tidore.

Agregat apung memenuhi sifat fisik agregat beton dan dapat digunakan sebagai agregat ringan dan batu apung ini memenuhi persyaratan beton ringan (Geoffrey, et al., 2012) (Kabay & Aköz, 2012). Beton beragregat batu apung dapat digunakan pada bangunan tahan gempa, pada bangunan yang mengutamakan ketahanan termal sebagai kriteria utama dan beton apung dapat digunakan di tempat yang lebih sering hujan asam (Muralitharan & Ramasamy, 2015). Penggunaan batu apung sebagai agregat kasar dapat secara signifikan dapat mengurangi berat volume beton dan kuat tekan yang dihasilkan masuk kedalam range sebagai beton ringan (Vankatesh & Krishna, 2015) (Parmo, et al., 2018) (Saravanakumar, et al., 2019). Beton dengan menggunakan agregat batu apung sebagai substitusi agregat kasar, menghasilkan kuat tekan beton yang sedikit turun dibandingkan dengan beton normal, sehingga perlu diberikan bahan tambah untuk mempertahankan kuat tekan, berat volume yang dihasilkan oleh beton beragregat batu apung cenderung lebih ringan dibandingkan dengan beton normal (Idi, et al., 2020). Batu apung sebagai agregat kasar pada campuran beton dengan mengganti secara parsial, pada prosentase sampai 50% apung kuat tarik, kuat tekan dan kuat lentur masih sebanding dengan beton konvensional, namun setelah prosentase batu apung >50% kekuatannya berkurang secara bertahap. Karenanya hingga persentase penggantian 50% batu apung dapat digunakan secara efektif untuk tujuan struktural. Penggantian 60% - 100% hanya dapat digunakan untuk keperluan non struktural, dapat disimpulkan bahwa karena agregat batu apung memenuhi sifat beton, maka secara efektif dapat digunakan sebagai agregat ringan. Beton yang dihasilkan dengan agregat ini juga memenuhi persyaratan beton ringan yang ditentukan oleh (Lakshmi, et al., 2017) (Sangeetha, et al., 2020) (Nu'man, et al., 2021). Beton ringan dengan menggunakan agregat ringan berupa batu apung dan *admixture* jenis *air entraining agent* menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu apung sebagai campuran dapat menghasilkan beton ringan dengan grade kekuatan yang berbeda dengan satuan berat yang berbeda. Beton ini tidak memenuhi persyaratan kekuatan untuk elemen struktur penahan beban. (Manzoor, et al., 2018). Penggunaan 100%

agregat kasar batu apung cenderung menurunkan kuat tekan dan kuat lentur dari balok beton bertulang (Sultan, et al., 2021).

Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan inovasi seperti dengan penambahan serat berupa serat alam, di mana jenis serat ini dapat memperbaiki kinerja kuat tekan dan kuat lentur balok beton (Prahara, et al., 2015) (Sudika, et al., 2017)(Sahrudin & Nadia, 2016) (Chaeril, et al., 29) (Sultan, et al., 2021). Selain serat alam ada juga penggunaan serat buatan seperti serat gelas dan serat kawat, di mana serat ini juga dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur balok seperti yang telah dikemukakan oleh beberapa peneliti (Oktarina, et al., 2018; Alex & Kalidas, 2019; Kawulusan, et al., 2019; Pratama, et al., 2021). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku balok beton ringan dengan menambahkan serat kawat.

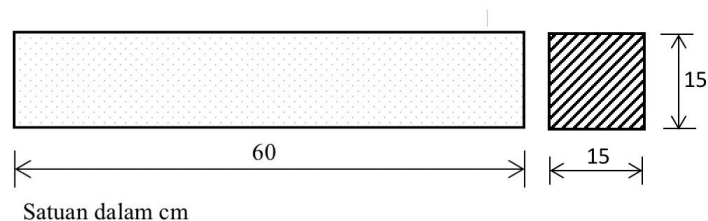
## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Benda uji

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berupa pengujian kuat tekan dan pengujian kuat lentur pada balok beton ringan dengan tambahan serat kawat dan tanpa tambahan serat kawat. Benda uji penelitian berupa benda uji silinder berukuran 15x30 cm untuk uji kuat tekan dengan kuat tekan rencana 1,0 MPa. Benda uji balok berukuran 15x15x60 cm tanpa tulangan untuk pengujian kuat lentur. Perancangan campuran adukan beton berdasarkan standar nasional Indonesia SNI 3349 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton ringan. Menggunakan agregat halus pasir batu apung (*pumice sand*) dan agregat kasar batu apung (*pumice*) yang berasal dari quarry Dowora Kota Tidore Kepulauan.

Tabel 1 Benda uji balok untuk pengujian kuat tekan dan kuat lentur

Tipe Benda Uji	Jumlah Serat Terhadap Berat Benda Uji	Kode Benda Uji	Umur Rencana (hari)	Jumlah Benda Uji (buah)
Silinder beton ringan tanpa serat	0%	S <sub>R</sub>	28	15
Silinder beton ringan dengan serat	7,5%	S <sub>RS</sub>	28	15
Balok beton ringan tanpa serat	0%	B <sub>R</sub>	28	5
Balok beton ringan dengan serat	7,5%	B <sub>RS</sub>	28	5



Gambar 1 Model benda uji balok tanpa tulangan

Benda uji yang digunakan berbentuk balok 15x15x60 cm (tanpa tulangan) ditunjukkan pada gambar 1 dengan jumlah benda uji pada Tabel 1.

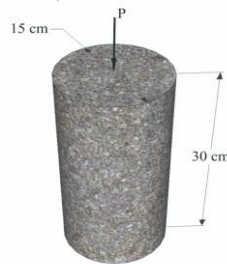
### 2.2 Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan mengacu ke standar nasional Indonesia (SNI 1974, 2011), Proses pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dengan membebani benda uji silinder beton sampai alat ukur pada manometer tidak mengalami peningkatan beban. Perhitungan besar kuat tekan beton masing-masing benda uji diolah dengan menggunakan persamaan 1, sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P_{max}}{A} \tag{1}$$

di mana:

- $f'c$  = Kuat tekan (MPa)
- $P_{max}$  = beban tekan maksimum (N)
- $A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

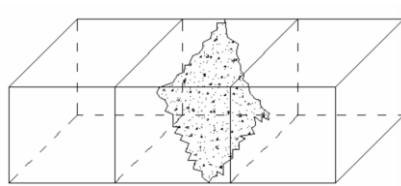


Gambar 2 Sketsa pengujian kuat tekan

Gambar 2 memperlihatkan model benda uji kuat tekan berbentuk silinder. Dimensi silinder tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.

### 2.3 Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian lentur dilakukan dengan pembebanan dua titik atau *twopoint load*, pengujian ini mengacu ke standar nasional Indonesia (SNI 4431, 2011). Pengujian lentur dilakukan untuk menentukan besarnya kekuatan lentur beton dengan benda uji balok berukuran 15x15x60 cm (balok tanpa tulangan). Perhitungan kekuatan lentur berdasarkan posisi bidang patah pada balok uji seperti ditunjukkan pada gambar 3. Sketsa pengujian seperti pada gambar 6.



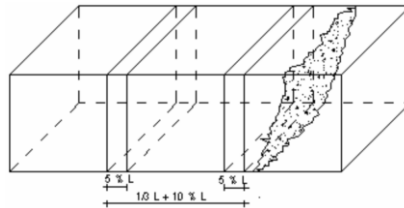
Gambar 3. Posisi bidang patah di tengah pada benda uji menurut SNI 4431

$$\sigma_l = \frac{P.L}{bh^2} \tag{2}$$



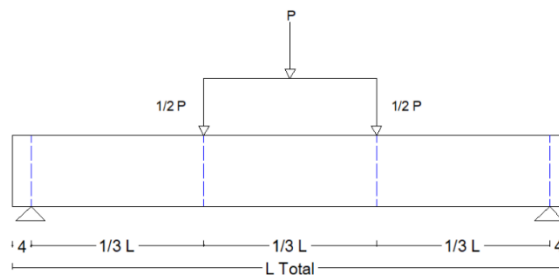
Gambar 4 Posisi bidang patah di pinggir kanan pada benda uji menurut SNI 4431

$$\sigma_l = \frac{P.a}{bh^2} \tag{3}$$



Gambar 5 Posisi bidang patah di luar pusat pada benda uji menurut SNI 4431

Apabila patahnya benda uji berada di luar pusat seperti pada gambar dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah > 5% panjang bentang, maka hasil pengujian diabaikan atau tidak dapat digunakan.



Gambar 6 Sketsa pengujian lentur balok tanpa tulangan

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengujian agregat

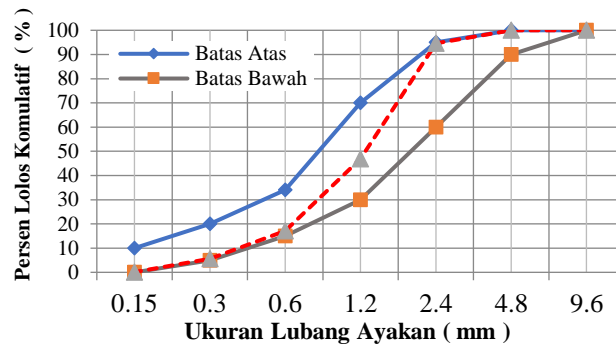
Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kadar lumpur, kadar air, absorpsi, berat jenis, modulus kehalusan dan abrasi untuk agregat kasar. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2. Hasil pengujian abrasi memiliki nilai lebih besar dari spesifikasi SNI.

Dengan mengacu ke persyaratan fisis agregat ringan sesuai standar Indonesia (SNI 2461, 2002) dan USA (ASTM C330-03, 2003), maka agregat tersebut masuk ke katagori agregat ringan, di mana berat volume sesuai spesifikasi.

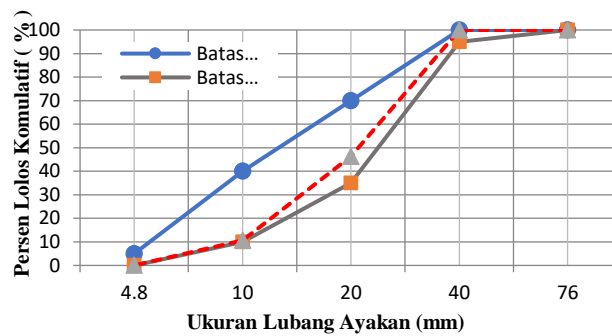
Tabel 2 Hasil pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar

No	Pengujian	Agregat Halus (pasir batu apung)	Agregat Kasar (batu apung)
1.	Kadar lumpur	0,50%	0,90%
2.	Kadar air	7,37%	15,00%
3.	Penyerapan air	0,91%	3,09%
4.	Berat volume (padat)	0,63	0,87
5.	Modulus kehalusan	3,36%	7,43%
6.	Keausan	--	45,63%

Gambar 5 menunjukkan gradasi agregat halus pasir batu apung (*pumice sand*) termasuk ke zona I atau pasir kasar. Gradasi agregat kasar batu apung (*pumice*) termasuk ke zona I dengan ukuran maksimum 40 mm, seperti ditunjukkan pada gambar 6.



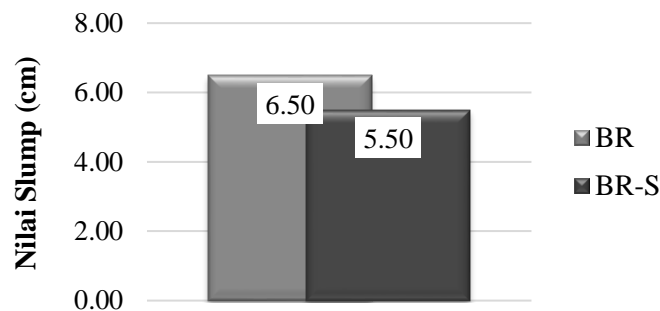
Gambar 4 Gradasi agregat halus pasir batu apung berada pada zona I



Gambar 5 Gradasi agregat kasar batu apung berada pada zona I (max 40 mm)

### 3.2 Pemeriksaan slump

Perbandingan hasil pemeriksaan nilai slump dari campuran beton ringan seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

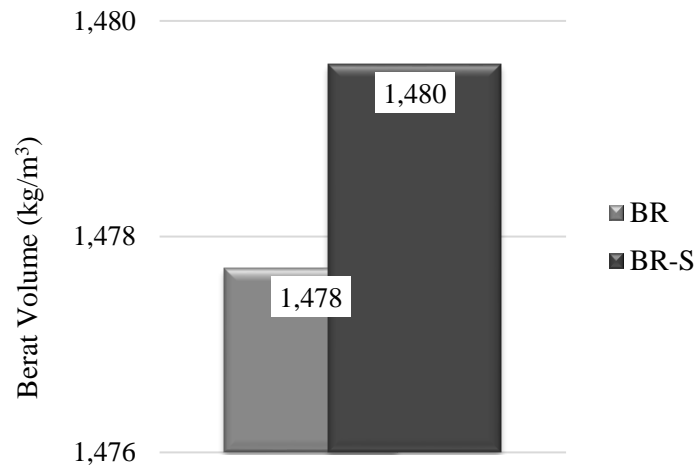


Gambar 6 Histogram nilai slump rata-rata

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa penambahan serat kawat pada campuran beton ringan dapat menurunkan nilai slump yang menunjukkan bahwa dengan penambahan serat kawat pada campuran beton ringan maka *workability* akan berkurang. Hal ini dikarenakan penambahan luas permukaan akibat penambahan material berupa serat kawat. Kemampuan kerja campuran beton serat kawat sangat dipengaruhi oleh volume fraksi serat kawat yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Nilai reduksi beton ringan berserat dibandingkan dengan beton ringan tanpa adalah 15,38%.

### 3.3 Berat volume

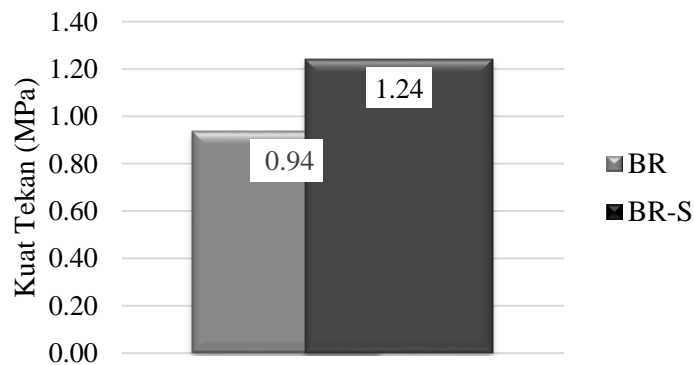
Pada gambar 7 ditunjukkan berat volume rata-rata beton dengan menggunakan agregat kasar batu apung (*pumice*) dan agregat ringan pasir batu apung (*pumice sand*) tanpa serat kawat sebesar  $1.478 \text{ kg/m}^3$ , apabila ditambahkan serat kawat berat volume menjadi  $1.480 \text{ kg/m}^3$ , sehingga beton ini dikategorikan sebagai beton ringan. Dimana syarat beton ringan sesuai standar nasional Indonesia adalah kurang dari  $1.850 \text{ kg/m}^3$ .



Gambar 7 Histogram berat volume rata-rata

### 3.4 Kuat tekan

Kuat tekan rata-rata beton ringan dan beton ringan berserat seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8, menunjukkan hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton ringan tanpa serat kawat diperoleh  $0,94 \text{ MPa}$ , setelah ditambahkan serat kawat  $7,5\%$  terhadap berat campuran mengalami kenaikan menjadi  $1,24 \text{ MPa}$ . Besar kenaikan kuat beton ringan berserat kawat adalah sebesar  $32,10\%$  terhadap beton ringan tanpa serat kawat, ini mengindikasikan bahwa serat kawat yang ditambahkan ke dalam campuran beton ringan dapat meningkatkan kuat tekan beton. Berdasarkan hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa serat kawat dapat memperbaiki kuat tekan beton (Pratama et al., 2021). Penambahan serat kawat pada kadar tertentu  $7,5\%$  memperbaiki kuat tekan beton (Junus, 2017)

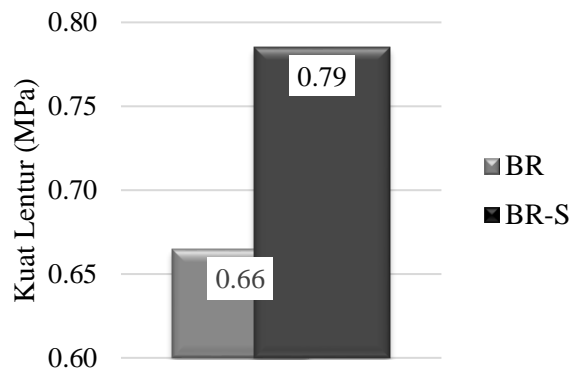


Gambar 8 Kuat tekan rata-rata beton normal dan beton serat



### 3.5 Kuat Lentur

Dari hasil pengujian kuat lentur balok beton ringan tanpa tulangan pada beton normal dan beton serat menghasilkan kuat lentur penampang masing-masing 0,66 MPa untuk beton ringan normal dan 0,79 MPa pada beton ringan berserat kawat. Persentase peningkatan kuat lentur beton ringan berserat kawat sebesar 18,12% terhadap beton ringan normal. Peningkatan kuat lentur beton ringan berserat kawat terhadap beton ringan tanpa serat sesuai dengan kenaikan kuat tekan eksperimen. Hubungan korelasi kuat tekan dan kuat lentur pada beton berdasarkan SNI  $f_r = K\sqrt{f'_c}$ , di mana  $K = 0,62$  (ACI) dan  $K = 0,70$  (SNI). Hasil pengujian diperoleh koefisien K pada beton ringan tanpa serat dan beton ringan berserat kawat masing-masing  $K = 0,69$  dan  $K=0,70$ . Koefisien K yang diperoleh mendekati ke koefisien SNI.



Gambar 12 Kuat lentur penampang balok beton ringan normal dan beton ringan berserat kawat

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Penambahan serat kawat kedalam campuran beton ringan dapat meningkatkan kinerja kuat tekan beton ringan berserat kawat lebih tinggi 32,10% dibandingkan beton ringan tanpa serat. Kuat lentur balok beton ringan berserat kawat lebih tinggi 18,12% dibandingkan balok beton ringan tanpa serat. Koefisien hubungan kuat lenutr dan kuat tekan ( $K$ ) diperoleh 0,69 pada beton ringan tanpa serat dan 0,70 pada beton ringan berserat kawat bendrat, nilai  $K$  eksperimen relatif sama dengan  $K$  berdasarkan SNI 2843.

### 4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sebagai bentuk rekomendasi adalah perlu penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi serta kawat yang berbeda yang lebih variative untuk mengetahui kuat lentur balok.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada PPs Universitas Khairun yang telah membiayai penelitian ini melalui skema PKUPT PPS tahun anggaran 2022.



## Daftar Kepustakaan

- Alex, I. X. & Kalidas, A., 2019. Flexural Behavior Of Fiber Reinforced Lightweight Concrete. *Revista de la Construccion*, 18(3), pp. 536-554.
- Chaeril, A., Bachtiar, E. & Nur, N. K., 2019. Sifat Mekanik Beton Serat Ijuk Yang Terendam Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Science*, 5(1), pp. 26-32.
- Vankatesh, B. & Krishna, B. V., 2015. *International Journal of Engineering Research and Technology*. A Study on The Mechanical Properties of Lightweight Concrete by Replacing Course Aggregate With (Pumice) and Cement With (Fly Ash), 4(8), pp. 331-336.
- Sukandarrumidi, S., 2009. *Bahan Galian Industri*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Geoffrey, M. N., Mutku, R. N., Oyawa, W. O. & Abuodha, S. O., 2012. Properties of Pumice Lightweight Aggregate. *Civil and Environmental Research*, 2(10), pp. 58-68.
- Kabay, N. & Aköz, F., 2012. Effect of Prewetting Methods on Some Fresh and Hardened Properties of Concrete with Pumice Aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 34(4), pp. 503-507.
- Muralitharan, R. S. & Ramasamy, V., 2015. Basic Properties of Pumice Aggregate. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 8(4), pp. 1845-1852.
- Parmo, P. et al., 2018. *The Mechanical Properties of Lightweight Concrete Made with Lightweight Aggregate Volcanic Pumice*. Setúbal, Portugal., Scite Press.
- Saravanakumar, R., Veerakumar, G. & Kumar, G., 2019. Strength Behavior of Pumice Stone Lightweight Concrete Beam in Contrast With Reinforced Concrete Beam. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), pp. 297-300.
- Idi, M. A., Abdulazeez, A. S., Usman, S. A. & Justin, T., 2020. Strength Properties of Concrete Using Pumice Aggregate As Partial Replacement of Coarse Aggregate. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(11), pp. 519-525.
- Lakshmi, A. S. et al., 2017. Experimental Investigation On Light Weight Concrete Using Pumice Aggregate. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, 4(3), pp. 176-183.
- Sangeetha, S. P., Mawlong, K., Lyngkhai, B. & Kurkalang, A., 2020. Mechanical Characteristics of Pumice Stone as Light Weight Aggregate in Concrete. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), pp. 3760-3762.
- Nu'man, N., Gaus, A. & Sultan, M. A., 2021. Comparison of Compressive Strength Value of Concrete Using Pumice Sand with Ordinary Sand as Fine Aggregate. *Courtabœuf, Perancis, E3S Web of Conferences*.
- Manzoor, M. M., Abhishek, G., Rukhsana, G. & Ankush, T., 2018. Floating Concrete by Using Light Weight Aggregates and Air Entraining Agent. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3(6), pp. 99-104.

- Sultan, M. A., Gaus, A., Hakim, R. & Imran, I., 2021. Review of The Flexural Strength of Lightweight Concrete Beam Using Pumice Stone as of Substitution. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), pp. 154-159.
- Prahara, E., Liong, G. T. & Rachmansyah, R., 2015. Analisa Pengaruh Penggunaan Serat Serabut Kelapa dalam Presentase Tertentu pada Beton Mutu Tinggi. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 6(2), pp. 208-214.
- Sahrudin, S. & Nadia, N., 2016. Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Konstruksia*, 7(2), pp. 13-20.
- Sudika, I. G. M., Astariani, N. K. & Suardana, I. N., 2017. Pengaruh dan Perbandingan Serat Ijuk Lokal Bali Dengan Serat Ijuk Lombok Pada Campuran Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Tarik Belah. *Jurusan Teknik Gradien*, 9(1), pp. 199-214.
- Chaeril, A., Bachtiar, E. & Nur, N. K., 29. Sifat Mekanik Beton Serat Ijuk Yang Terendam Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Science*, 5(1), pp. 26-32.
- Sultan, M. A., Tuhuteru, E. & Abdullah, M. F. F., 2021. Kapasitas Lentur Balok Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Ijuk. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 7(3), pp. 163-171.
- Jauhari, Z. A. & Apriani, F., 2020. Perbandingan Katakarakteristik Beton Serat Kawat Bendrat f'c 20 MPa dengan Campuran Air Gambut dan Air Sumur Bor. *Jurnal TeKLA*, 2(1), pp. 8-16.
- Kawulusan, J. A., Manalip, H. & Dapas, S. O., 2019. Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Serat Kawat Bendrat dengan Variasi Sudut Tekuk pada Kedua Ujungnya. *Jurnal Sipil Statik*, 7(5), pp. 513-526.
- Oktarina, D., Ayu P, A. & Purwanto, E., 2018. Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. Yogyakarta, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST).
- Pratama, L. A., Mundias, A. H. R. & Riyadi, M., 2021. Kinerja Serat Kawat Bendrat Sebagai Bahan Tambah Beton FAS 0.4. *Construction and Material Journal*, 3(1), pp. 33-40.
- SNI 4431, 2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan, Jakarta: Badan Standardisasi Indonesia.
- SNI 3349, 2002. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan, Jakarta: Badan Standardisasi Indonesia.
- ASTM C330-03, 2003. Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Pennsylvania: ASTM International.
- SNI 2461, 2002. Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1974, 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, Jakarta: Badan Standardisasi Indonesia.