

## Pengaruh penambahan vermikulit pada beton normal terhadap kuat lentur balok terdukung sederhana

Lintang Dian Artanti<sup>1,\*</sup>, Malik Mushthofa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Global Jakarta, Depok, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Received: 3 November 2023

Revised: 8 Desember 2023

Accepted:

29 Desember 2023

Available online:

30 Desember 2023

#### Keywords:

Vermiculite  
Flexural Strength  
Concrete

### Abstract

Concrete innovation in the construction industry continues to grow until now. One of the substantial innovations made is adding a material called vermiculite. If changes in compressive strength of concrete were observed in the previous study, then changes in concrete weight and flexural strength of concrete with the addition of vermiculite as much as 12%, 24%, and 36% were observed in this study. Concrete specimens were cured with water for 28 days and then weighted and tested for flexural strength with two loading points. The test results show that the lightest concrete is found in concrete with the addition of 36% vermiculite, with a weight difference of 0.03% lighter than normal concrete. Based on the results of the flexural strength test, the addition of 36% vermiculite makes the flexural strength of concrete 42.75% higher than normal concrete. This improvement proves that vermiculite's high water absorption properties can reduce the excess water content in concrete to reduce its weight, making the concrete denser and increasing its flexural strength.

### Corresponding Author:

Lintang Dian Artanti  
[lintang@jgu.ac.id](mailto:lintang@jgu.ac.id)



Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan yang sangat banyak digunakan dalam dunia konstruksi modern ini, hal ini menyebabkan perkembangan pada inovasi material penyusun beton terus berkembang. Banyak pengembang yang dilakukan untuk terus memperbaiki kelemahan yang dimiliki oleh beton, inovasi yang dilakukan antara lain: untuk menaikkan kekuatan beton, membuat bahan penyusun beton menjadi lebih ramah lingkungan, hingga membuat beton yang dapat menyembuhkan kerusakannya sendiri (*self-healing concrete*).

Prakrash dkk. (2019) melakukan penelitian material beton dengan inovasi pada penggantian agregat dengan vermikulit (variasi: 20%, 30% dan 40%) dan penggantian semen dengan bubuk marmer (variasi: 5%, 10% dan 15%). Kesimpulan

penelitian ini adalah penggantian vermikulit 30% dan penggantian bubuk marmer 10% menghasilkan kuat tekan beton tertinggi yaitu 44,14 MPa, sehingga berdampak pada kenaikan kuat tarik dan lentur, serta modulus elastisitasnya.

Peteti dkk. (2022) melakukan penelitian dengan menggunakan vermikulit sebagai agregat halus dan agregat kasar dalam dua campuran yang berbeda. Bahan pengisi sepenuhnya diganti dengan vermikulit. Agregat halus yang diganti dengan agregat kasar menunjukkan hasil yang lebih baik. Spesimen yang dicor dengan vermikulit lebih ringan dibandingkan dengan beton normal.

*Expanded vermiculite* digunakan untuk menggantikan agregat halus pada beton. Sifat berpori dan ringan dari *expanded vermiculite* juga berkontribusi pada

penurunan berat satuan dan kekuatan tekan mortar, serta peningkatan penyerapan air. Meskipun penurunan berat pada mortar *expanded vermiculite* dalam kondisi *elevated temperature* meningkat, *expanded vermiculite* memiliki efek positif dalam memberikan ketahanan panas dan stabilitas termal untuk mortar, terlihat dari pengurangan kehilangan kekuatan tekan mortar setelah terpapar suhu tinggi (Mo dkk., 2018). Koksall dkk. (2020) melakukan penelitian dengan menambahkan vermikulit dan polostiren/semén ke dalam campuran beton dan mendapatkan hasil bahwa kekuatan lentur beton yang besar menunjukkan perilaku yang paralel dengan kekuatan tekan. Ketika rasio vermikulit dengan polistiren/semén ditingkatkan, maka kekuatan lentur menurun.

Silva dkk. (2010) juga melakukan penelitian serupa dengan menggunakan beton yang dicampur dengan vermikulit dan polistiren, dan menghasilkan kuat lentur beton sebesar 0,45 MPa pada rasio campuran vermikulit sebesar 10%, jika dibandingkan saat rasio percampuran vermikulit dan polistiren masing-masing mencapai 100%, maka kuat lentur beton berturut-turut mencapai 0,9-2,4 MPa dan 0,6-2,4 MPa.

Kondisi sebaliknya terjadi pada penelitian Gunasekaran (2016), yang menggunakan vermikulit sebagai pengganti sebagian dari agregat halus dengan variasi penggantian sebanyak 5%, 10%, 15%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan vermikulit tidak berdampak baik terhadap kenaikan kekuatan dan kualitas beton, sebaliknya justru menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton.

Naveen dkk. (2020) meneliti campuran beton dengan mengganti seluruh komponen agregat halus dengan vermikulit dengan perbandingan volume pada campuran beton adalah 1:1:2; 1:1,5:1,5; dan 1:2:1 (Semén : Agregat Halus : Agregat Kasar). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum dicapai pada komposisi campuran

beton 1:1,5:1,5 yaitu sebesar 5,33 MPa, sedangkan pada dua komposisi campuran lainnya menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah yaitu sebesar 2,99 MPa dan 4,36 MPa.

Neville dan Brooks (1981) telah menggunakan vermikulit pada campuran beton yang berperan sebagai pengganti sebagian dari agregat ringan dalam pembuatan beton ringan. Dari substitusi ini diperoleh kecenderungan penurunan kuat tekan beton dibandingkan dengan penggunaan agregat ringan yang lain. Besaran kuat tekan beton dari penelitian ini berkisar antara 0,3 MPa hingga 3 MPa. Vermikulit sendiri merupakan salah satu material dengan penyerapan air yang tinggi, yaitu sebesar 150% (Syahril dan Lintang, 2021) dan juga 106,9% (Dian dan Syahril, 2023).

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Dian dan Syahril (2023), yakni dengan melakukan penambahan vermikulit pada campuran beton dengan variasi penambahan sebesar 12%, 24%, dan 36% dengan mengkaji parameter perubahan kuat lentur dan berat rerata beton.

## Metode Penelitian

### *Alur Penelitian*

Pada penelitian ini dibuat 4 variabel beton, yakni beton normal yang dijadikan sebagai variabel kontrol dan 3 beton dengan variasi penambahan vermikulit sebesar 12%, 24%, dan 36% terhadap berat per 1 m<sup>3</sup> beton. Campuran beton direncanakan dengan mutu  $f_c' = 30$  MPa, yang kemudian dicetak berbentuk balok dengan ukuran 50 × 10 × 10 (cm), dan dirawat dalam rendaman air selama 28 hari. Pasca perendaman dilakukan penimbangan berat benda uji dan dilanjutkan pengujian kuat tekan, dan lentur balok dengan menggunakan dua titik pembebanan. Namun selain dilakukan pengujian kuat lentur, dilakukan pula pengujian kuat tekan beton yang hasilnya dianalisis dalam penelitian sebelumnya.

Dalam penelitian tersebut, kuat tekan beton unit blok diambil dari beban maksimum, yaitu diukur sebagai N, dibagi dengan luas penampang bruto dari unit balok beton ringan, dalam mm<sup>2</sup> (Jayaseelan, 2019).

Mengingat penelitian ini adalah penelitian lanjutan, maka hasil pembahasan detail mengenai pengujian material, pengujian kuat tekan dapat dilihat pada penelitian sebelumnya (Dian & Syahril, 2023).

### **Agregat**

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Galunggung (agregat halus) dan daerah Cimalaka (agregat kasar). Kedua agregat ini kemudian dilakukan pengetesan agar dapat menjadi bahan penyusun beton. Standar untuk masing-masing agregat sendiri harus terpenuhi seperti kadar organik, kadar butiran halus/kadar lumpur, kadar air, berat jenis, penyerapan air, dan gradasi butiran.

### **Semen**

Semen yang digunakan pada pembuatan beton pada penelitian ini adalah jenis semen *Portland Composite Cement* (PCC) dengan merek "Dynamic". Untuk detail spesifikasi dari merk semen tersebut ada pada Tabel 1 yang diuji pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Sama seperti agregat, pengujian pada semen ini dilakukan agar sesuai dengan standar dari material penyusun beton. Standar untuk penggunaan semen sebagai material penyusun beton menyangkut berat jenis, waktu pengikatan, konsistensi, dan kadar butiran halus dari semen itu sendiri.

Tabel 1. Spesifikasi semen yang digunakan dalam campuran beton (Dian dan Syahril, 2023)

Pengujian	Hasil	Standar
Kadar Butir Halus	1,6%	<10%
Berat Jenis	2,96	3,1 – 3,3 (Anonim, 1991b)
Konsistensi	27,5%	25% - 33% (ASTM, 2016)
Waktu-ikat	150 menit	45 – 480 menit (Anonim, 2004)

### **Vermikulit**

Vermikulit ini merupakan salah satu hasil proses pemanasan pada serpihan mika, dan bahan ini merupakan bahan berpori yang sangat steril dan mempunyai kemampuan menyerap air dalam jumlah besar dengan cepat, mudah dan juga cepat kering (Amalia & Hendry, 2014). Vermikulit adalah agregat yang terbentuk ketika batuan vulkanik dipanaskan hingga mencapai suhu yang tinggi. Agregat ini merupakan agregat yang mengembang dengan banyak rongga udara, ketika dicampur dengan pengikat yang sesuai akan menghasilkan struktur yang lebih ringan dan sifat isolasi suara (Preethi dkk., 2020). Vermikulit dapat diklasifikasikan sebagai agregat ringan, sehingga dapat digunakan dalam produksi struktur beton ringan (Pretty, 2009).

Vermikulit adalah sekelompok laminar terhidrasi mineral yang merupakan silikat aluminium-besi-magnesium, dan memiliki bentuk butiran/partikel menyerupai mika (Gunasekaran, 2016). Serpihan-serpihan dari vermikulit ini sangat mungkin memiliki karakteristik sebagai pelumas untuk rentang suhu yang tinggi, dari sini dapat dikatakan bahwa vermikulit merupakan salah satu bahan isolasi panas yang baik (Suvorov & Skurikhin, 2003) dan sebagai pengisi berpori ringan untuk insulasi panas (Koçyiğit & Çay, 2019).

Selain itu, vermikulit memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yakni sebesar 41,60% (Dian & Syahril 2023) yang dapat menjadi keuntungan ketika menjadi material campuran dalam beton. Tingkat penyerapan airnya yang tinggi (di atas 100%) pun dapat menjadi keuntungan untuk menyerap air yang ada dalam campuran beton, sehingga dapat meningkatkan kualitas dari beton itu sendiri. Hal ini juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Karatas dkk., (2019) bahwa penggunaan vermikulit sebesar 10% pada mortar secara signifikan meningkatkan penyerapan air. Bentuk vermikulit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Vermikulit

Pengujian yang dilakukan pada vermikulit ini disamakan dengan proses pengujian pada agregat. Hal ini dikarenakan bentuk dan besar butirannya yang menyerupai agregat. Selain itu, dilakukan juga pengujian kandungan mineral untuk mengetahui besaran kandungan yang terkandung di dalamnya. Detail mengenai kandungan dari vermikulit terdapat pada Tabel 2. Sebagaimana disajikan dalam Tabel 2 bahwa kandungan yang paling dominan dari vermikulit adalah kandungan senyawa silika, yakni sebesar 41,6%.

Tabel 2. Kandungan senyawa kimia dalam vermikulit (Dian &amp; Syahril 2023)

Kandungan senyawa kimia	Persentase
SiO <sub>2</sub>	41,60 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,38 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,29 %
FeO	< 0,001 %
MgO	24,60 %

### Mix Design Beton

Perencanaan proporsi campuran atau biasa disebut dengan *mix design* beton dalam penelitian ini disesuaikan dengan perencanaan campuran beton pada penelitian sebelumnya, dimana target mutu beton normal adalah sebesar  $f_c' = 30$  MPa. Tabel 3 menjelaskan proporsi dari campuran beton yang digunakan pada penelitian ini yakni dengan menggunakan 4 variasi campuran beton, beton A adalah sebagai variabel kontrol dengan tanpa penambahan

vermikulit pada campurannya, sedangkan beton B, C, dan D merupakan beton dengan penambahan vermikulit.

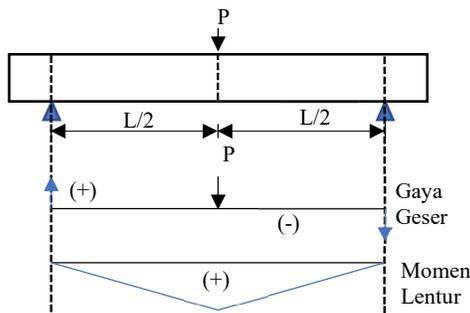
Tabel 3. Proporsi Campuran Beton tiap m<sup>3</sup>

Mix Code	Semen (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Vermikulit (kg)
A 0%	441,9	983,2	712	0
B 12%	441,9	983,2	712	0,960
C 24%	441,9	983,2	712	0,192
D 36%	441,9	983,2	712	0,288

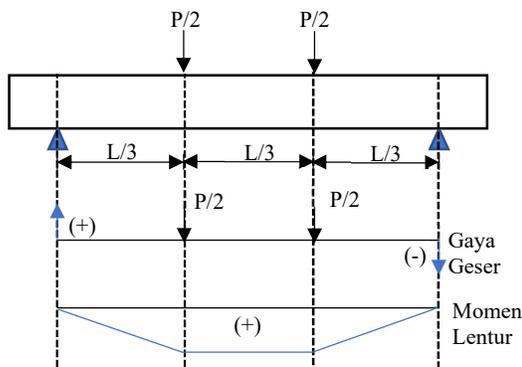
### Kuat Lentur Beton

Kuat lentur terjadi pada beton dikarenakan adanya mekanisme tegangan dalam yang ada di dalam balok beton saat dikenakan beban. Tegangan dalam tersebut merupakan distribusi tegangan pada beton yang merupakan resultan dari gaya tekan dalam dan resultan gaya tarik dalam pada beton. Gaya-gaya dalam tersebut memiliki arah garis kerja yang sejajar akan tetapi berlawanan arah yang juga dipisahkan oleh jarak tertentu hingga akhirnya dapat membentuk “momen tahanan dalam”. Nilai maksimum dari mekanisme tersebut yang disebut dengan kuat lentur beton.

Pengujian kuat lentur atau *flexural strength* pada beton terbagi menjadi dua jenis yang didasarkan pada letak titik pembebanan, yang dibebankan pada benda uji beton, yakni pengujian dengan satu titik pembebanan Gambar 3 serta pengujian dengan penggunaan dua titik pembebanan Gambar 4. Pada studi ini dilakukan pengujian dengan menggunakan dua titik pembebanan. Pengujian ini terjadi dengan beban yang dibagi menjadi dua, yaitu beban tersebut didistribusikan pada masing-masing ujung dari 1/3 panjang dari benda uji beton, yakni di bagian tengah bentang balok benda uji.

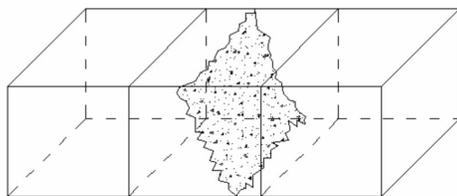


Gambar 3. Ilustrasi gaya dalam dengan satu titik pembebanan.



Gambar 4. Ilustrasi gaya dalam dengan dua titik pembebanan.

Pada pengujian kuat lentur dengan menggunakan metode dua titik pembebanan, perhitungan kuat lentur dibagi menjadi tiga jenis yang dilihat dengan menyesuaikan pola kerusakan yang terjadi pada benda uji. Pola keretakan dan rumus perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



Gambar 5. Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (a) (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

Gambar 5 menunjukkan kerusakan yang terjadi ketika posisi patah pada benda uji balok berada pada daerah pusat benda uji (lokasi patah pada 1/3 jarak titik perletakan

bagian tengah). Jika kondisi ini terjadi, maka persamaan berikut digunakan untuk menghitung besarnya kuat lentur beton.

$$\sigma_1 = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (1)$$

Keterangan :

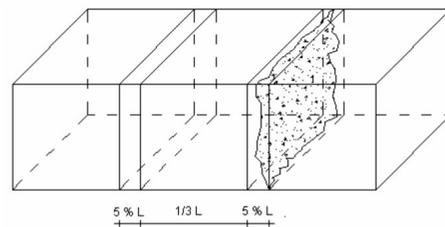
$\sigma_1$  = kuat lentur beton,

P = gaya maksimum yang dibebankan pada benda uji beton,

L = panjang benda uji beton,

b = lebar benda uji beton,

h = tinggi benda uji beton.



Gambar 6. Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (b) (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

Gambar 6 menggambarkan lokasi patah yang terjadi pada benda uji yang terletak diluar pusat (lokasi patah pada 1/3 dari jarak titik perletakan yang ada pada bagian tengah benda uji) dan jarak dari titik pusat ke titik patah <5% dari jarak antar titik pembebanan. Jika kondisi ini terjadi, maka persamaan (2) yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat lentur beton.

$$\sigma_1 = \frac{P \times a}{b \times h^2} \quad (2)$$

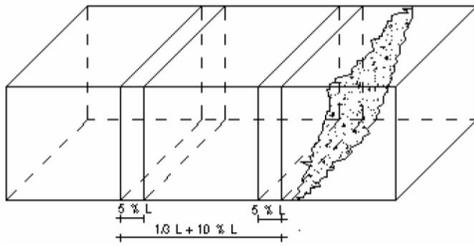
Keterangan:

$\sigma_1$  = kuat lentur beton,

P = gaya maksimum yang dibebankan pada benda uji beton,

b = lebar benda uji beton,

h = tinggi benda uji beton.



Gambar 7. Letak kerusakan benda uji pada pengujian kuat lentur beton (c) (Badan Standardisasi Nasional, 2011)

Gambar 7 menggambarkan lokasi patah yang terjadi pada benda uji yang terletak pada  $1/3$  bentang tengah dan garis patah terletak pada pada lebih dari 5% dari bentang benda uji beton.

## Hasil dan Pembahasan

### Berat rerata beton

Pengukuran berat pada beton ini dilakukan untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai pengaruh dari penambahan vermikulit pada beton. Hasil dari pengukuran berat tersebut tergambar pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran berat beton

No.	Variasi Vermikulit	Berat (gram)	Berat Rata-Rata (gram)
1.	0%	12.700	
2.	0%	12.670	12.693,3
3.	0%	12.710	
4.	12%	12.470	
5.	12%	12.566	12.500,3
6.	12%	12.465	
7.	24%	12.460	
8.	24%	12.452	12.450,6
9.	24%	12.440	
10.	36%	12.350	
11.	36%	12.250	12.310,0
12.	36%	12.330	

Tabel 4 menggambarkan bahwa semakin besar prosentase penambahan vermikulit pada campuran beton, maka berat dari beton

tersebut juga semakin ringan. Berat beton terbesar didapatkan dari beton normal dengan tanpa penambahan vermikulit yakni sebesar 12,69 kg dan kemudian berat teringan didapatkan pada beton dengan campuran vermikulit sebesar 36% yakni sebesar 12,31 kg. Prosentase perubahan berat kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini.

$$\frac{\text{Berat Terbesar} - \text{Ber Teringan}}{\text{Berat Terbesar}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\frac{12693,3 - 123}{12693,3} \times 100\% = 0,03\%$$

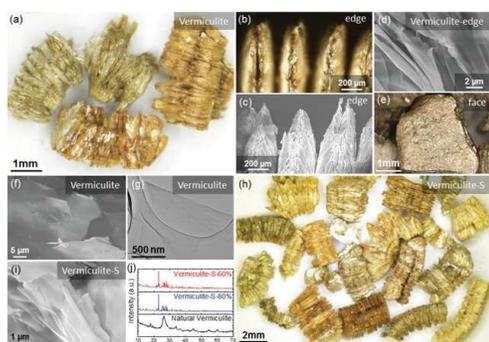
Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa terdapat pengurangan berat beton sebesar 0,03% pada penambahan vermikulit sebesar 36% pada campuran beton. Hal ini merupakan dampak yang baik untuk beton meskipun besar perubahannya tidak signifikan.

Di lain sisi, beberapa penelitian lain yang dilakukan dengan menggunakan vermikulit sebagai pengganti sebagian material penyusun beton ataupun mortar secara memberikan pengurangan berat sendiri yang cukup besar.

Chandra dkk. (2016), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa peningkatan penggantian agregat halus dengan menggunakan vermikulit dapat menurunkan densitas beton. Al-Jabri dkk. (2016) dalam penelitiannya menjelaskan penurunan densitas blok beton pada 28 hari dengan penambahan vermikulit terhadap campuran beton dengan rentang 0 - 20 (%). Penurunan ini meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan vermikulit. Penelitian yang dilakukan Rahman dan Babu (2016) memberikan hasil penurunan *bulk density* beton dengan penggantian sebagian pasir dengan 5% dan 10% vermikulit (proporsi berat). Berdasarkan penelitian tersebut, penurunan nilai *bulk density* saat umur beton 7 hari adalah sebesar 3,84% untuk benda uji dengan 5% vermikulit, dan 4,8% untuk benda uji dengan 10% vermikulit, sedangkan penurunan *bulk density* saat umur beton 28 hari sebesar 8,21% untuk benda uji

dengan 5% vermiculit dan 12,79% untuk benda uji dengan 10% vermiculit.

Berdasarkan beberapa penelitian yang dilakukan, nilai penurunan pada *density* beton secara umum terjadi pada beton yang menggunakan vermiculit, baik itu sebagai pengganti sebagian agregat atau sebagai material tambahan. Pengurangan berat beton terjadi akibat pengaruh dari morfologi yang dimiliki oleh vermiculit. Vermiculit memiliki morfologi yang disebut dengan *accordion-like structure* (Wu dkk. (2019)).



Gambar 8. Tampak morfologi vermiculit pada skala 1–2 (mm).

Morfologi yang seperti ini membuat vermiculit memiliki banyak ruang udara. Kondisi ini yang menjadikan pemakaian vermiculit menyebabkan peningkatan volume material, tetapi disaat yang sama terjadi penurunan massa. Akibat dari keadaan tersebut adalah campuran beton yang dihasilkan akan memiliki *density* yang lebih rendah dari beton normal.

#### **Kuat lentur beton**

Pengujian kuat lentur menggunakan metode pembeban dua titik karena beberapa pertimbangan di antaranya lebih mendekati keadaan pembebanan aktual struktur dan mengurangi risiko terjadinya konsentrasi tegangan (Nilsen and DiBiase, 2017). Dari hasil pengujian kuat lentur beton, kemudian diamati posisi dari kerusakan yang terjadi pada benda uji beton dan juga didapatkan bacaan beban maksimum yang dapat didukung oleh benda uji sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian dan perhitungan kuat lentur beton.

No.	Variasi Vermiculit	Beban maksimum (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Lentur Rata-Rata (MPa)
1.	0%	9,765	3,93	
2.	0%	9,792	4,12	4,00
3.	0%	9,523	3,96	
4.	12%	10,878	4,66	
5.	12%	10,890	4,74	4,66
6.	12%	10,956	4,56	
7.	24%	12,863	5,44	
8.	24%	12,750	5,19	5,44
9.	24%	12,000	5,67	
10.	36%	13,009	5,57	
11.	36%	13,135	5,65	5,71
12.	36%	13,33	5,92	

Kuat lentur terbesar ada pada beton dengan campuran vermiculit 36%, yakni sebesar 5,71 MPa. Sedangkan kuat lentur terendah didapatkan pada beton tanpa penambahan vermiculit atau beton normal dengan kuat lentur sebesar 4 MPa. Perubahan kuat lentur ini linear dengan besaran penambahan vermiculit pada beton dan perubahan ini cukup besar yakni sebesar 42,75% yang dihitung dari persamaan (3) dengan rincian perhitungan sebagai berikut.

$$\frac{\text{Kuat Lentur Terbesar} - \text{Kuat Lentur Terkecil}}{\text{Kuat Lentur Terbesar}} \times 100\%$$

$$= \frac{5,71 - 4,00}{5,71} \times 100\% = 42,75\%$$

Penggunaan vermiculit dapat meningkatkan kuat lentur beton diperkuat oleh beberapa penelitian yang lain (Benli dkk., 2020), menyatakan penggunaan vermiculit sebagai pengganti sebagian semen menghasilkan nilai kuat lentur yang lebih rendah pada umur beton 3 hari, tetapi menghasilkan kuat lentur yang lebih tinggi dari beton normal pada umur beton 28 hari. Meski begitu beton tersebut pada umur 90 hari mempunyai kuat lentur yang lebih rendah dari beton normal.

Menurut Benli dkk (2020) kekuatan lentur benda uji pada hari ke 3 dan ke 90 lebih rendah dari pada beton normal, sedangkan pada umur 28 hari lebih tinggi dari beton normal dikarenakan faktor kekuatan ikatan rantai polimer *interlayer* pada material vermikulit. Penurunan kekuatan benda uji pada umur 90 hari disebabkan oleh kekurangan kohesi antar partikel akibat air yang tidak mencukupi. Demikian pula, air yang terlalu banyak (pada saat umur 3 hari) dapat menyebabkan lapisan tipis (*cement film*) yang terpisah dari agregat, sehingga mengakibatkan beton menjadi kekurangan semen dan berakibat pada melemahnya rekatan antar agregat. Kekuatan lentur meningkat dibandingkan beton normal karena kadar air optimal dicapai pada umur beton 28 hari. Kadar air yang optimal dapat memperkuat kohesi antar partikel pada beton.

#### ***Kerusakan benda uji***

Sebagaimana disajikan pada Gambar 8. Pola kerusakan yang terjadi adalah kegagalan getas. Kegagalan getas ditandai dengan hilangnya kapasitas menahan beban secara tiba-tiba dan fatal tanpa peringatan dini yang signifikan. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan beberapa faktor di antaranya nilai *tensile strength* beton yang kecil, homogenitas material dan letak momen maksimum. Ketika mendukung gaya lentur, serat bawah balok mengalami tegangan tarik dan jika tegangan ini melebihi kapasitas tarik beton, retakan akan mulai terbentuk dan menyebar dengan cepat kemudian menyebabkan kegagalan tiba-tiba karena beton bersifat getas (Hwang & Sheu, 2005).



Gambar 9. Kerusakan benda uji dari pengujian kuat lentur beton.

Posisi kerusakan beton dari pengujian kuat lentur didapatkan pada posisi sepertiga tengah bentang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Setup pengujian disajikan sebagaimana Gambar 10, kemudian benda uji setelah mencapai kapasitas lentur maksimum disajikan pada Gambar 11.



Gambar 10. Pengujian kuat lentur beton (sebelum hancur).



Gambar 11. Pengujian kuat lentur beton (setelah hancur).

Mengingat dalam penelitian ini, benda uji balok tidak dipasang tulangan tarik, maka seluruh penampang hanya mengandalkan kuat lentur beton untuk menahan beban lentur (Al-Shafei & Al-Saif, 2012). Kuat tarik beton juga memegang peranan penting dalam terjadinya kegagalan *brittle*. Kekuatan tarik beton yang rendah (biasanya 10-20% dari kekuatan tekannya) menyebabkan beton menjadi rentan terhadap retakan bahkan di bawah beban

lentur yang relatif rendah (Al-Hilany & Abdalla, 2014).

### Kesimpulan

Hasil pengukuran berat rerata benda uji dan pengujian kuat lentur beton menunjukkan bahwa vermikulit memiliki dampak yang baik pada perubahan berat dan kuat lentur pada beton. Beton dengan penambahan vermikulit sebesar 36% memiliki berat rerata yang 0,03 % lebih kecil daripada beton ringan. Pengujian kuat lentur beton dengan penambahan vermikulit pada umur 28 hari juga memberikan hasil yang positif, yaitu adanya peningkatan kuat lentur sebesar 42,5% pada beton dengan penambahan 36% vermikulit.

Meski begitu perlu diperhatikan bahwa dari penelitian yang lain didapatkan pola beton dengan vermikulit akan memiliki nilai kuat lentur optimal pada umur 28 hari, sedangkan pada umur 3 hari dan 90 hari akan memiliki nilai kuat lentur yang lebih rendah dari beton normal. Selain itu, pada penelitian yang lebih lanjut perlu adanya penambahan tulangan pada benda uji, sehingga pada pengujian lentur akan didapatkan kurva load-displacement.

### Daftar Pustaka

- Abdul Rahman, S., G. Babu. 2016. An experimental investigation on light weight cement concrete using vermiculite minerals, *Int. J. Innovative Res. Sci. Eng. Technol.* 5 (2) 2389–2392.
- Al-Hilany, A. I., & Abdalla, O. E. 2014. Flexural behaviour of high-strength concrete beams made with different coarse aggregate types. *Engineering Structures*, 75, 25-32.
- Al-Jabri, K.S., A.W. Hago, R. Taha, A.S. Alnuaimi, A.H. Al-Saidy. 2009. Strength and insulation properties of building blocks made from waste materials, *J. Mater. Civil Eng. (ASCE)* 21 (5) 191–197.
- Al-Shafei, K. A., & Al-Saif, A. A. 2012. Brittle Flexural Failure of Lightweight Concrete Beams Strengthened with Textile Strips. *Construction and Building Materials*, 36(1), 803-812.
- Amalia, Dewi, and Hendry. 2014. “Kajian Peningkatan Nilai CBR Tanah Lempung Padalarang Yang Distabilisasi Dengan Vermikulit Dan Semen.” *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (December)*:91–105.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. “SNI 4431-2011: Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan.” *Badan Standardisasi Nasional* 16.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. “SNI-8457:2017: Rancangan Tebal Jalan Beton Untuk Lalu Lintas Rendah.” *Badan Standardisasi Nasional*.
- Benli, A., Mehmet Karatas, Hasan Anil Toprak. 2020. Mechanical characteristics of self-compacting mortars with raw and expanded vermiculite as partial cement replacement at elevated temperatures. *Construction and Building Materials* 239 (2020) 117895 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117895>
- Chandra, S.G., H.K. Ch, V. Manikanta, M. Simhachalam. 2016. Effect of fly ash on mechanical properties of light weight vermiculite concrete, *Int. J. Innovative Res. Sci., Eng. Technol. (IJRSET)* 5 (3) 4106–4112.
- Dian, Lintang, and S. Syahril. 2023. “Effect of Vermiculite Addition on the Compressive Strength of Concrete.” *The 2Nd International Conference on Design, Energy, Materials and Manufacture 2021 (Icdemm 2021)* 2568(June 2022):040004. doi: 10.1063/5.0115987.
- Gunasekaran, M. 2016. “Study on Vermiculite Incorporate in Mortar.” *2(12)*:36–42.

- Hwang, S. H., & Sheu, H. M. 2005. Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams with High Bond Reinforcement. *ACI Materials Journal*, 102(5), 346-355
- Jayaseelan, Revathy. 2019. "Investigation on the Performance Characteristics of Concrete Incorporating Nanoparticles." *Jordan Journal of Civil Engineering* 13(2):351–60.
- Karatas, Mehmet, Ahmet Benli, and Hasan Anil Toprak. 2019. "Effect of Incorporation of Raw Vermiculite as Partial Sand Replacement on the Properties of Self-Compacting Mortars at Elevated Temperature." *Construction and Building Materials* 221:163–76.  
doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.077.
- KOÇYİĞİT, Şermin, and Vedat Veli ÇAY. 2019. "Investigation of Mechanical and Thermal Behavior of Basalt Cutting Waste (Bcw) Added Clay Brick." *European Journal of Technic* 9(2):209–18.  
doi: 10.36222/ejt.643209.
- Koksal, Fuat, Emrah Mutluay, and Osman Gencel. 2020. "Characteristics of Isolation Mortars Produced with Expanded Vermiculite and Waste Expanded Polystyrene." *Construction and Building Materials* 236:117789.  
doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117789.
- Mo, Kim Hung, Hong Jie Lee, Michael Yong Jing Liu, and Tung Chai Ling. 2018. "Incorporation of Expanded Vermiculite Lightweight Aggregate in Cement Mortar." *Construction and Building Materials* 179:302–6.  
doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219.
- Naveen Kumar, K., D. S. Vijayan, R. Divahar, R. Abirami, and C. Nivetha. 2020. "An Experimental Investigation on Light-Weight Concrete Blocks Using Vermiculite." *Materials Today: Proceedings* 22(xxxx):987–91.  
doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.237.
- Neville, A. M., and J. J. Brooks. 1981. *Concrete Technology*. 2nd ed. England.
- Nilsen, A.H., and DiBiase, A.M. 2017. "Design of Concrete Structures," 15th ed., McGraw-Hill Education, New York, NY.
- Peteti, Jhansi, A. Venkateswara Rao, and M. Achyutha Kumar Reddy. 2022. "Experimental Study on Strength Properties of Self-Curing Concrete with Fly Ash and GGBS." *Materials Today: Proceedings* 65(November):3646–50.  
doi: 10.1016/j.matpr.2022.06.191.
- Prakash, K. E., D. M. Sangeetha, and Shakeel Bagwan. 2019. *An Experimental Study on Partial Replacement of Fine Aggregate by Vermiculate and Cement by Marble Powder*. Springer Singapore.
- Preethi, M., P. Ashveen Kumar, and Mohd Hamraj. 2020. "A Review on Light Weight Vermiculite Concrete." *Solid State Technol* 63(April):2645–49.
- Pretty, Dian. 2009. "Studi Karakteristik Fisik Dan Mekanis Beton Ringan Beragregat Kasar Ringan Daur Ulang Botol Plastik Shampo Polietilen Densitas Tinggi (HDPE)." Universitas Indonesia.
- Silva, L. M., R. A. Ribeiro, J. A. Labrincha, and V. M. Ferreira. 2010. "Role of Lightweight Fillers on the Properties of a Mixed-Binder Mortar." *Cement and Concrete Composites* 32(1):19–24.  
doi: 10.1016/j.cemconcomp.2009.07.003.
- Suvorov, S. A., and V. V. Skurikhin. 2003. "Vermiculite - A Promising Material for High-Temperature Heat Insulators." *Refractories and Industrial Ceramics* 44(3):186–93.  
doi: 10.1023/A:1026312619843.

Syahril, and Lintang D.A. 2021. “Kajian Pengaruh Penambahan Vermikulit Terhadap Beton Segar.” *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik* 23(1):51–58. doi: 10.35313/potensi.v23i1.2434.

Wu, Feixiang & Lv, Haifeng & Chen, Shuangqiang & Lorger, Simon & Srot, Vesna & Oschatz, Martin & Aken, Peter & Wu, Xiaojun & Maier, J. & Yu, Yanlin. 2019. Natural Vermiculite Enables High-Performance in Lithium–Sulfur Batteries via Electrical Double Layer Effects. *Advanced Functional Materials*. 29. 10.1002/adfm.201902820.