

# KAJIAN PENGARUH PENAMBAHAN VERMIKULIT TERHADAP BETON SEGAR

Syahril<sup>1</sup>, Lintang D.A<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Email: syahril\_polban@yahoo.com

<sup>2</sup>Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Email: lintangdianartanti@gmail.com

## ABSTRAK

Beton adalah salah satu komponen utama yang terus berkembang mengikuti keadaan lingkungan dan perubahan-perubahan yang terjadi pada lingkungan tersebut. Salah satu inovasi yang sedang terus dicari adalah penggunaan bahan yang dapat membuat beton dapat memiliki kekuatan yang lebih dalam mencegah kerusakan akibat dari perubahan suhu yang ekstrem, jika didasarkan pada hal tersebut maka vermiculit merupakan salah satu bahan yang memenuhi kriteria tersebut (didasarkan pada penelitian sebelumnya). Vermiculit memiliki kemampuan dalam mengekstraksi logam dalam air serta struktur serpihannya memiliki karakteristik sebagai bahan tahan api. Tujuan dari penambahan vermiculit pada campuran beton ini adalah untuk mengetahui pengaruh vermiculit ketika dijadikan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton (dengan jumlah yang relatif sangat kecil), karena yang selama ini vermiculit dijadikan sebagai substitusi semen dan agregat (dimana penambahan vermiculit ini digunakan dalam jumlah yang relatif besar pada setiap campurannya). Penambahan vermiculit pada campuran beton ini terdiri dari 4 variasi proporsi, yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Dari pengujian didapatkan semakin besar penambahan vermiculit pada campuran beton *slump* semakin menurun namun berat isinya akan semakin kecil. Adonan campuran beton yang ditambah dengan vermiculit lebih kering, selain itu hasil beton yang dibuat dengan penambahan vermiculit cenderung akan memiliki berat yang lebih ringan daripada beton pada umumnya.

*Kata kunci : vermiculit, beton segar, inovasi bahan, material sustainable.*

## ABSTRACT

*Concrete is one of the main components that continues to evolve according to environmental conditions. One of the innovations is the use of materials that can make concrete have more strength in preventing damage due to extreme temperature changes. Based on this, vermiculite is one of the materials that fulfill these criteria (based on previous research). Vermiculite has the ability to extract metals in water and its flake structure has the characteristics of a refractory material. The purpose of adding vermiculite to the concrete mixture is to determine the effect of vermiculite when used as an added material in the manufacture of concrete (in a very small amount), because so far vermiculite is used as a substitute for cement and aggregate (where the addition of vermiculite is used in a relatively big amount). relatively large in each mixture). The addition of vermiculite to the concrete mixture consists of 4 variations in proportions: 0%, 10%, 20%, and 30%. From the test, it was found that the greater addition of vermiculite to the slump concrete mixture, the decreasing but the content weight would be smaller. Concrete mixture added with vermiculite is drier, besides that the results of concrete made with the addition of vermiculite tend to have a lighter weight than regular concrete.*

*Keywords: vermiculite, fresh concrete, material innovation, sustainable material.*

## 1. PENDAHULUAN

Beton adalah material yang harus terus dikembangkan seiring dengan perkembangan pada dunia konstruksi. Pengembangan-pengembangan pada teknologi dan bahan beton ini tentunya harus menyesuaikan dengan kondisi alam yang terus berubah. Salah satu sifat yang dibutuhkan dalam pengembangan inovasi bahan untuk beton adalah material yang dapat tahan terhadap korosi/abrasi oleh air dan dapat memiliki ketahanan yang baik terhadap api/suhu tinggi. Penelitian ini didasari dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, berikut merupakan penelitian yang dijadikan sebagai referensi untuk penggunaan vermiculit pada campuran beton.

Hendry (2014) menggunakan campuran vermiculit dan semen sebagai bahan untuk menstabilkan tanah lempung karena vermiculit dibutuhkan agar dapat menyerap air berlebih yang ada pada tanah. Koxsal et al., (2015) menggunakan *silica fume* dan vermiculit sebagai campuran dalam pembuatan beton ringan dimana beton ini menjadi lebih tahan terhadap temperatur yang tinggi atau bisa disebut dengan *good fire resistance*. Schackow et al., (2014) membandingkan *lightweight concrete* dengan substitusi vermiculit dengan *lightweight concrete* dengan substitusi *Expanded Polystyrene* (EPS) dan didapatkan hasil bahwa

beton ringan dengan substitusi vermikulit dapat lebih banyak menyerap air dan lebih berat daripada beton yang menggunakan substitusi EPS. Beton EPS ini juga memiliki kekuatan yang lebih tinggi juga lebih tahan terhadap suhu yang tinggi.

Prakash et al., (2019) melakukan substitusi agregat dengan vermikulit (variasi : 20%; 30% & 40%) dan substitusi semen dengan bubuk marmer (variasi : 5%; 10%; dan 15%) , mendapatkan hasil pada substitusi vermikulit sebesar 30% dan substitusi bubuk marmer sebesar 10% dengan kuat tekan paling tinggi yaitu 44,14 MPa pada umur 28 hari. Kuat lentur, kuat tarik, dan modulus elastisitas juga meningkat pada persentase campuran tersebut, maka dapat dikatakan perpaduan campuran tersebut adalah yang sangat bagus untuk digunakan.

Mo et al., (2018) Penggunaan *expanded* vermikulit sebagai substitusi agregat halus pada beton menghasilkan hasil yang baik. Berat beton berkurang, kekuatannya meningkat dan ketahanannya terhadap suhu tinggi semakin baik (ketika ditinjau pada suhu tinggi, pengurangan kekuatan pada beton tidak sebanyak beton biasa).

Tujuan dari dilakukan penambahan vermikulit pada campuran beton ini adalah untuk mengetahui pengaruh vermikulit ketika dijadikan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton (dengan jumlah yang relatif sangat kecil), karena yang selama ini ada vermikulit dijadikan sebagai substitusi semen dan agregat (dimana penambahan vermikulit ini digunakan dalam jumlah yang relatif besar pada setiap campurannya). Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat berkontribusi dalam menyumbang pengetahuan mengenai pengaruh penambahan vermikulit pada campuran beton dan jika hasilnya baik diharapkan dapat digunakan di lapangan sebagai alternatif dalam pembuatan beton.

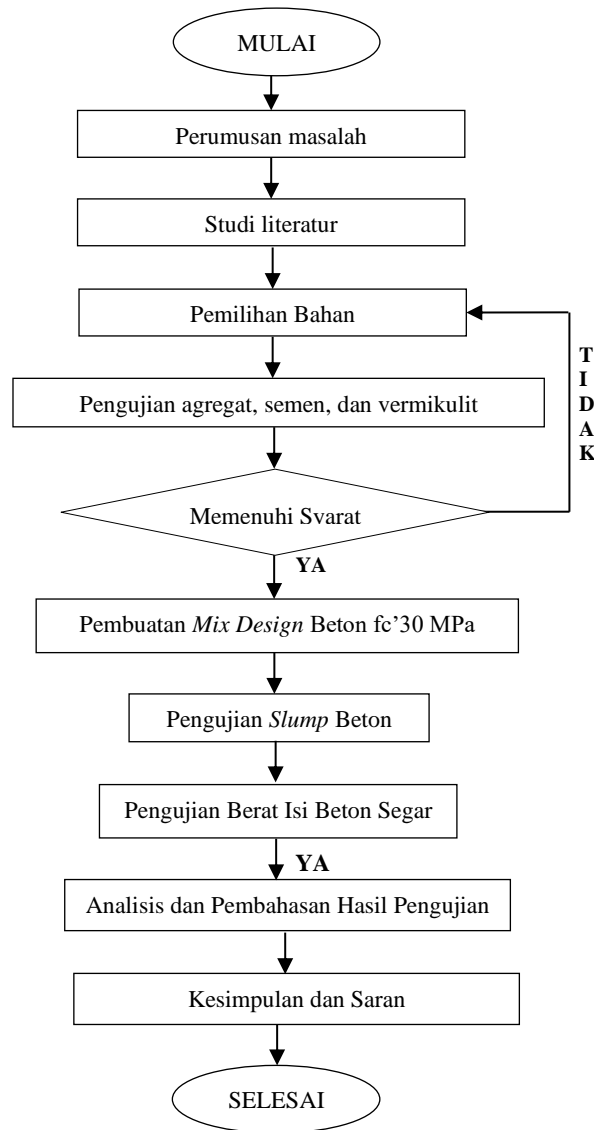
## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan dua jenis variabel beton segar yaitu beton segar dengan campuran beton pada umumnya yang akan digunakan sebagai variabel kontrol, dan sebagai pembandingnya adalah campuran adukan beton yang ditambah dengan vermikulit sebanyak 10%, 20%, dan 30%. Setelah itu akan dilihat perbandingan tekstur dan berat dari kedua campuran beton. Namun, sebelum dapat membuat campuran beton seluruh material diuji dan disesuaikan terlebih dahulu sesuai dengan standar-standar yang ada sehingga dapat menentukan proporsi campuran sesuai dengan yang diinginkan. *Mix design* yang digunakan adalah campuran untuk mutu beton  $f_c'$  30 MPa.

### 2.1 Alur Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini, digunakan pendekatan teori dan pendekatan lapangan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi / mengamati langsung karakteristik beton segar dengan penambahan vermikulit di laboratorium. Pengujian laboratorium meliputi pengujian sifat fisik dari masing-masing material yang akan digunakan pada campuran beton, kemudian dilanjutkan dengan pengamatan dari penambahan vermikulit pada beton segar. Pengujian laboratorium dilakukan dengan mengacu pada standar-standar yang berlaku sesuai dengan parameter-parameter material yang dibutuhkan pada desain beton yang diinginkan.

Penambahan material vermikulit pada campuran beton ini terdiri dari 3 variasi proporsi, yaitu 10%,20%, dan 30%. Variabel kontrol yang digunakan sebagai perbandingan adalah beton segar normal tanpa penambahan vermikulit. Parameter yang akan dibandingkan dari variabel-variabel tersebut adalah tekstur dan berat isi beton segar. Gambar 1 berikut menunjukkan urutan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Material

Berikut merupakan acuan dalam pemilihan dan pengujian material yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan campuran beton pada penelitian ini.

### a. Agregat

Agregat yang digunakan dalam pembuatan beton ini ada dua jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Beberapa acuan yang digunakan dalam pemilihan agregat ini adalah: SNI 03-1968-1990, SNI 03-4804-1998, ASTM C 117:2012, SNI 2417-2008, SNI 03-1969-1990, SNI 2816-2014, dan SNI 03-1971-2011.

Agregat yang digunakan pada pembuatan beton di penelitian ini bersumber dari Galunggung (agregat halus) dan Langgadar (agregat kasar). Kedua bahan ini dipilih karena kandungan lumpur dan besar butiran sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Selain itu, bahan ini dipilih karena mudah didapatkan di sekitar tempat dilakukannya penelitian

### b. Semen

Semen adalah bahan yang berfungsi untuk mengikat semua bahan yang ada dalam campuran beton. Semen yang dipilih adalah semen dengan merek Tiga Roda. Pemilihan tipe semen pada pembuatan beton segar ini berdasarkan semen yang mudah didapatkan di pasaran. Beberapa acuan yang digunakan dalam pemilihan agregat ini adalah ASTM C-187 dan SNI 15-2049-2004.

### c. Air

Penggunaan air dalam pembuatan campuran beton kerap kali diabaikan, namun sesungguhnya kualitas air yang digunakan akan sangat mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan. Hal ini diatur dalam SNI 7974-2013. Pada penelitian ini, air yang digunakan adalah air yang mudah didapatkan pada lingkungan laboratorium Politeknik Negeri Bandung.

d. Vermikulit

Vermikulit dihasilkan dari pemanasan kepingan-kepingan mika. Vermikulit merupakan material yang memiliki steril porositas tinggi dan mampu menyerap air dalam jumlah banyak dengan cepat dan mudah juga dikeringkan secara cepat (Hendry, 2014). Bentuk dari vermikulit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Vermikulit

Vermikulit termasuk dalam salah satu agregat ringan yang sering digunakan dalam pembuatan beton ringan yang pembuatannya melewati metode proses pemanasan dan proses fusi batuan *glassy* pada suhu 650°C – 1000°C (Pretty, 2009). Kandungan utama pada vermikulit adalah SiO<sub>2</sub> (34,46%), MgO (20,96%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12,79%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8,98%), TiO<sub>2</sub> (1,59%), CaO (0,54%), K<sub>2</sub>O (0,29%), P<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,29%), Na<sub>2</sub>O (0,07%), Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (0,15%), karbon (0,03%), fluorin (0,44%), dan beberapa kandungan lain yang persentasenya kurang dari 0,05% (Hendry, 2014). Vermikulit menunjukkan karakteristik pertukaran ion yang luar biasa, yang dapat digunakan untuk menyiapkan bahan yang diperlukan untuk mengekstraksi garam logam berat dari air (Rashad, 2016).

Struktur serpihan vermikulit memungkinkannya memiliki karakteristik pelumas yang tinggi untuk rentang suhu yang luas. Jadi, itu bisa digunakan sebagai bahan tahan api (Suvorov & Skurikhin, 2003) dan sebagai pengisi berpori ringan untuk insulasi panas (KOÇYİĞİT & ÇAY, 2019).

Vermikulit adalah bahan yang efektif sebagai bahan isolasi panas dengan suhu tinggi (hingga 1100° C). Material dan produk yang menggunakan vermikulit tidak akan mudah terbakar, stabil, netral terhadap asam, dan memiliki kekuatan yang stabil dengan waktu dan ketahanan terhadap deformasi. Vermikulit juga memiliki gravitasi yang sangat rendah, sehingga dapat digunakan dalam produksi semen dan juga polimer komposit (Koksal et al., 2015).

Penggunaan vermikulit dalam beton sebagai substitusi dan pengganti agregat ringan untuk beton ringan akan cenderung menurunkan kekuatan tekan dari beton tersebut dibandingkan dengan penggunaan agregat ringan lainnya, seperti yang telah dilakukan oleh Neville bahwa beton ringan dengan penggunaan agregat ringan berupa vermikulit hanya mendapatkan kuat tekan sebesar 0,3-3 MPa (Neville & Brooks, 1981).

Vermikulit ini dapat dengan mudah didapatkan di toko-toko bahan pertanian hidroponik (untuk penggunaan dalam jumlah yang kecil. Namun, jika membutuhkan jumlah yang besar maka bisa didapatkan pada salah satu distributor vermikulit yang ada dengan merek IPI Lite yang ada di Cimahi, Jawa Barat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengujian Material Beton

Berikut ini merupakan data material yang diuji dan digunakan dalam pembuatan campuran beton.

1. Agregat Kasar

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, agregat kasar yang berasal dari daerah Langgadar ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada SNI. Tabel 1 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian agregat kasar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kadar Lumpur / Kadar Butir Halus	3,2%	Kadar butir halus agregat kasar < 1% (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	Harus dicuci terlebih dahulu
2	Berat Jenis	2,66	2,4 – 2,9 (Pusjatan - Balitbang PU, 1990)	Sudah memenuhi standar
3	Analisa Ayak	Ukuran maksimum : 40mm	(Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Gradasi sudah memenuhi standar
4	Abrasi	16,7%	< 50% (Badan Standardisasi Nasional, 2008)	Sudah memenuhi standar

2. Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, agregat halus yang berasal dari daerah Galunggung ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada SNI. Tabel 2 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian agregat halus.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kadar Organik	No.1	No.1 (Badan Standardisasi Nasional, 2014)	Sudah memenuhi standar.
2	Kadar Lumpur	3%	<5% (Badan Standardisasi Nasional, 2012)	Sudah memenuhi standar.
3	Berat Jenis	2,66	2,4 – 2,9 (Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Sudah memenuhi standar.
4	Analisa Ayak	Gradasi Zona 2	(Badan Standardisasi Nasional, 1990)	Gradasi sudah memenuhi syarat (Badan Standardisasi Nasional, 1990)

3. Semen

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, semen dengan merek Tiga Roda (PCC) ini telah memenuhi standar-standar yang ada pada (SNI 15-2049-2004). Tabel 3 berikut merupakan rincian dari hasil pengujian semen.

Tabel 3. Hasil Pengujian Semen

No.	Pengujian	Hasil	Standar	Keterangan
1	Kehalusan Butir	2,2%	<10%	Sudah memenuhi standar.
2	Berat Jenis	2,91	3,1 – 3,3 (Badan Standardisasi Nasional, 1991)	Belum memenuhi standar, karena penurunan mutu semen yang beredar di pasaran.
3	Konsistensi	30%	25% - 33% (ASTM, 2016)	Sudah memenuhi standar.
4	Waktu Ikat	150 menit	45 – 480 menit (Badan Standardisasi Nasional, 2004)	Sudah memenuhi standar.

4. Vermikulit

Karena vermiculit digolongkan menjadi salah satu agregat ringan maka pengujian fisik yang dilakukan pada vermiculit sama dengan pengujian agregat pada umumnya. Tabel 4 berikut merupakan hasil pengujian dari sifat fisis yang didapatkan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Vermikulit

No.	Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis	0,8
2	Berat Isi	0,19 kg/liter
3	Penyerapan Air	150%

3.2. Mix Design

Setelah didapatkan hasil dari pengujian material-material yang digunakan, maka selanjutnya adalah menentukan proporsi campuran beton (*mix design*) dengan target mutu beton sebesar  $f_c'$  30 MPa yang berpedoman pada (Badan Standardisasi

Nasional, 2000). Target mutu beton ini disesuaikan dengan kebutuhan desain yang akan digunakan sebagai beton dalam pembuatan *rigid pavement* yang memiliki standar minimal mutunya adalah sebesar  $f_c' 30$  MPa. Tabel 6 berikut menunjukkan proporsi campuran yang digunakan dalam pembuatan beton segar.

Tabel 6. Proporsi Campuran Beton

No	Bahan	Jumlah (per m <sup>3</sup> )
1	Agregat Kasar	983,2 kg
2	Agregat Halus	712 kg
3	Semen	441,9 kg
4	Air	190 kg
5	Vermikulit :	
	- 10%	- 80 gram
	- 20%	- 160 gram
	- 30%	- 240 gram
6	Slump	5 – 7,5 cm

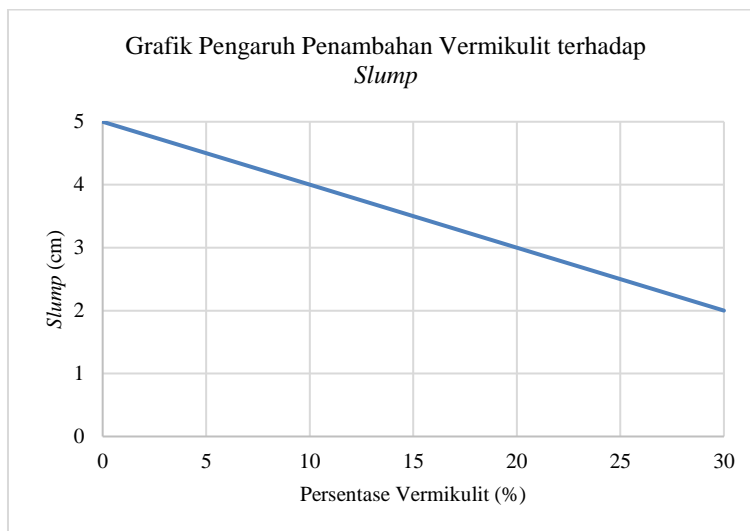
Besarnya proporsi penambahan vermikulit pada campuran beton merupakan *persentase* dari banyak dan beratnya campuran beton yang akan dibuat dengan mempertimbangkan nilai dari berat jenis vermikulit itu sendiri. Penambahan vermikulit pada campuran beton ini tidak berpengaruh terhadap besar proporsi campuran bahan lainnya, hal ini dikarenakan tidak adanya standar mengenai penambahan vermikulit dalam campuran beton. Peran vermikulit dalam campuran beton ini bisa disamakan dengan istilah bahan tambah yang tidak mempengaruhi berat bahan utama dalam campuran.

### 3.3. Pengujian Beton Segar

Setelah *mix design* beton ditentukan, langkah selanjutnya adalah membuat mencampur seluruh material bahan pembuat beton. Dalam pembuatan beton ini kemudian dilakukan dua buah pengujian berikut.

#### 1. Pengujian Slump

Dengan menggunakan acuan proporsi material yang sama (berdasarkan *mix design*), maka dari *slump* ini dapat diketahui dan dibandingkan pengaruh besaran penambahan vermikulit terhadap beton segar yang dihasilkan. Hasil pengujian *slump* ini ditunjukkan pada grafik pada Gambar 3.



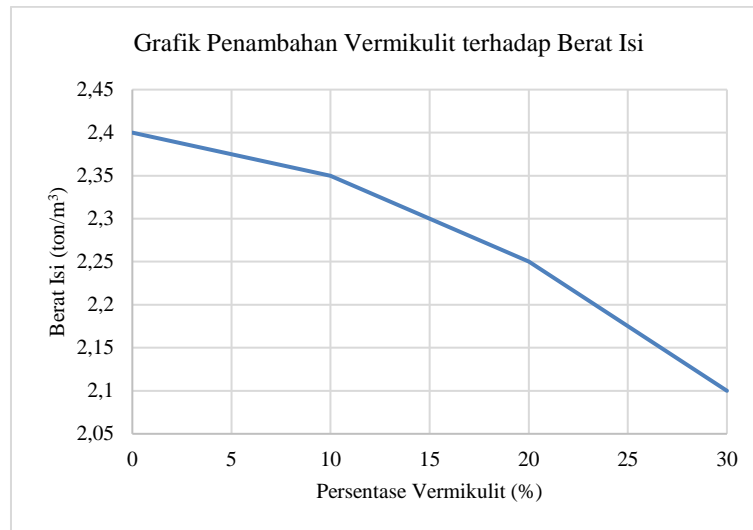
Gambar 3. Grafik Pengaruh Vermikulit terhadap Slump

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3 tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan vermikulit pada campuran beton, maka *slump*-nya akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak vermikulit terkandung dalam campuran beton, maka semakin banyak pula air yang terserap sehingga dapat mengurangi kadar air dalam campuran beton tersebut. Semakin kecil *slump*, maka hal itu menandakan bahwa beton segar semakin kental dan menurunkan *workability* di lapangan.

Penurunan *slump* pada beton segar ini dapat berakibat baik dan buruk pada beton yang akan dihasilkan. Sisi baiknya adalah adanya kemungkinan bahwa kekuatan tekan beton dapat meningkat daripada target desain awal. Sisi buruknya adalah ketika beton ini akan diterapkan di lapangan dalam jumlah yang besar, *slump* akan berubah secara tidak pasti dan dapat menurunkan *workability*.

## 2. Pengujian Berat Isi Beton Segar

Pada beberapa penelitian sebelumnya, dikatakan bahwa beton dengan kandungan vermikulit di dalamnya dapat menjadikan beton menjadi lebih ringan. Hal ini dapat diuji pada berat isi beton segar yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Vermikulit terhadap Berat Isi

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4 tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan vermikulit pada campuran beton maka beratnya akan semakin menurun atau dapat dikatakan bahwa beton semakin ringan.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar penambahan vermikulit pada pembuatan beton, maka besar *slump* akan semakin menurun. Penurunan besaran *slump* ini dapat menjadi buruk karena ketika beton ini akan diterapkan di lapangan dalam jumlah yang besar, *slump* akan berubah secara tidak pasti dan dapat menurunkan *workability*.

### 4.2. Saran

Semakin besar penambahan persentase vermikulit pada campuran beton akan semakin menurunkan beratnya, yang berarti vermikulit ini dapat dijadikan pilihan dalam pembuatan beton ringan, namun perlu juga dilakukan pengetestan besarnya mutu beton dengan penambahan vermikulit ini. (DIN-1048, 2016) (Badan Standardisasi Nasional, 1990) .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang pertama ditujukan kepada Allah SWT yang telah melancarkan jalannya penelitian dan pada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi laboratorium sehingga dapat terlaksana penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM. (2016). ASTM C187: Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. *ASTM International*, 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0187-16.2>
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (1990a). Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus. *Bandung : Badan Standardisasi Nasional*, 1–17.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (1990b). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–5.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 15-2531 : Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland. *Badan Standar Nasional*, 2531.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–34.

- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 : Semen Portland. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–128.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417-2008 : Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. *Badan Standardisasi Nasional*.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. (2012). ASTM C117:2012 : Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 m ( No . 200 ) dalam agregat mineral dengan pencucian. *Badan Standardisasi Nasional*, 200.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1974-1990 : Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- [10] Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816-2014 : Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10.
- [11] DIN-1048. (2016). *DIN-1048 : German Standard for determination of Permeability of Concrete*.
- [12] Hendry, D. A. (2014). Kajian peningkatan nilai cbr tanah lempung padalarang yang distabilisasi dengan vermikulit dan semen. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah, December*, 91–105.
- [13] KOÇYİĞİT, Ş., & ÇAY, V. V. (2019). Investigation of Mechanical and Thermal Behavior of Basalt Cutting Waste (Bcw) Added Clay Brick. *European Journal of Technic*, 9(2), 209–218. <https://doi.org/10.36222/ejt.643209>
- [14] Koksall, F., Gencil, O., & Kaya, M. (2015). Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 88, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.021>
- [15] Mo, K. H., Lee, H. J., Liu, M. Y. J., & Ling, T. C. (2018). Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar. *Construction and Building Materials*, 179, 302–306. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219>
- [16] Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1981). Concrete Technology. In *British Library Cataloguing in Publication Data* (2nd ed.).
- [17] Prakash, K. E., Sangeetha, D. M., & Bagwan, S. (2019). *An Experimental Study on Partial Replacement of Fine Aggregate by Vermiculite and Cement by Marble Powder*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0>
- [18] Pretty, D. (2009). *Studi Karakteristik Fisik dan Mekanis Beton Ringan Beragregat Kasar Ringan Daur Ulang Botol Plastik Shampo Polietilen Densitas Tinggi (HDPE)*. Universitas Indonesia.
- [19] Pusjatan - Balitbang PU. (1990). Sni 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Airagregat Kasar. *Pusjatan - Balitbang PU*, 2–5.
- [20] Rashad, A. M. (2016). Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*, 125, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.019>
- [21] Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M. V., Güths, S., & Mendes, G. A. (2014). Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and Building Materials*, 57, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009>
- [22] Suvorov, S. A., & Skurikhin, V. V. (2003). Vermiculite - A promising material for high-temperature heat insulators. *Refractories and Industrial Ceramics*, 44(3), 186–193. <https://doi.org/10.1023/A:1026312619843>