

SELF-COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH PARTIAL SUBSTITUTION OF PUMICE STONE AS COARSE AGGREGATE AND DIATOMITE AS CEMENT REPLACEMENT

Article History:

Received
02 January 2026
Revised
21 January 2026
Accepted
04 February 2026

ERLAND MUTHAHHARI IRAWAN¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia

Email: is.erland12@gmail.com

ABSTRAK

Self-Compacting Lightweight Concrete (SCLC) merupakan beton yang menggabungkan kemampuan memadat sendiri dengan bobot ringan. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh substitusi batu apung (50%) pada agregat kasar dan substitusi diatomit sebesar (5%, 10%, 15%, 20%) pada semen terhadap sifat segar, berat jenis, dan kuat tekan beton. Desain campuran menggunakan kombinasi metode Okamura dan SNI 03-2834-2000. Pengujian meliputi slump flow, berat jenis, dan kuat tekan umur 28 hari. Didapatkan hasil bahwa batu apung efektif menurunkan berat jenis, sedangkan diatomit meningkatkan kuat tekan melalui reaksi pozzolanik, namun kadar diatomit yang berlebihan menurunkan integritas kinerja struktural. Kombinasi optimal yang diperoleh adalah substitusi batu apung 50% dengan diatomit 5%, dengan kuat tekan 22,61 MPa serta berat jenis 1922 kg/m³, sehingga berpotensi digunakan sebagai beton ringan struktural.

Kata kunci: *Self-Compacting Lightweight Concrete, batu apung, diatomit, kuat tekan, berat jenis*

ABSTRACT

Self-Compacting Lightweight Concrete (SCLC) is concrete that combines self-compacting properties with light weight. This study evaluates the effect of pumice substitution (50%) in coarse aggregate and diatomite substitution (5%, 10%, 15%, 20%) in cement on the fresh properties, density, and compressive strength of concrete. The mix design utilised a combination of the Okamura method and SNI 03-2834-2000. Testing included slump flow, density, and compressive strength at 28 days. The results showed that pumice effectively reduced density, while diatomite increased compressive strength through pozzolanic reactions; however, excessive diatomite content reduced structural performance integrity. The optimal combination obtained was a 50% substitution of pumice with 5% diatomite, with a compressive strength of 22.61 MPa and a density of 1922 kg/m³, making it potentially suitable for use as structural lightweight concrete.

Keywords: *SCLC, pumice, diatomite, compressive strength, density*



1. PENDAHULUAN

Pada umumnya beton konvensional memiliki berat jenis yang tinggi, hal ini dapat mengakibatkan meningkatnya beban mati pada struktur. Diperlukan beton yang dapat meminimalisir beban mati namun masih mempertahankan integritas struktural dengan melakukan pengembangan Self-Compacting Lightweight Concrete (SCLC), yaitu beton yang mampu dapat memadat tanpa getaran dengan berat jenis yang ringan. Menurut SNI 2847:2013 beton ringan struktural memiliki berat jenis $<1900 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan minimum 17 MPa untuk beton struktural (Standar Nasional Indonesia, 2013). Tantangan pada pengembangan SCLC ini adalah tetap menjaga keseimbangan pada reduksi berat jenis dengan integritas kuat tekan beton struktural.

Self-Compacting Lightweight Concrete (SCLC) ini memanfaatkan material alami yaitu substitusi batu apung sebagai agregat kasar dan substitusi diatomit terhadap semen. Penggunaan material alami seperti batu apung mampu menghasilkan beton ringan dengan berat jenis $<2000 \text{ kg/m}^3$, namun dengan penggunaan batu apung diatas 40% berisiko menurunkan integritas mekanis beton struktural (Saidi & Hasan, 2020). Untuk menangani penurunan kekuatan tersebut, maka digunakan diatomit sebagai pozzolan karena mengandung silika amorf yang tinggi. Substitusi diatomit terhadap semen pada kadar 5 - 15% didapatkan efektif memperbaiki mikrostruktur dan kuat tekan beton yang disebabkan oleh reaksi pozzolanik (Li dkk., 2023). Karena hal tersebut penggunaan diatomit pada SCLC diharapkan dapat menutupi kelemahan dari batu apung.

2. METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Konstruksi Institut Teknologi Nasional Bandung dengan bersifat eksperimental, dengan tujuan untuk mengevaluasi sinergi antara substitusi batu apung (50%) terhadap agregat kasar dan diatomit (5%, 10%, 15%, 20%) terhadap semen, diharapkan menghasilkan SCLC yang memenuhi standar beton ringan dengan tetap mempertahankan integritas struktural. Variasi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Desain Campuran

Variasi	Agregat Kasar (%)		Powder (%)	
	Batu pecah	Batu apung	Semen	Diatomit
1	50	50	80	20
2	50	50	85	15
3	50	50	90	10
4	50	50	95	5

Berikut material bahan yang digunakan adalah agregat kasar batu pecah dan batu apung dengan berukuran maksimum 20 mm, agregat halus menggunakan pasir, semen Tipe 1 dengan merek semen tiga roda, diatomit, air, *superplasticizer* dengan merek *Sika Viscocrete 3115N*. Material bahan agregat kasar dan agregat halus yang dipakai dilakukan uji kelayakan dengan mengacu pada SNI yang berlaku, berikut pengujian yang dipakai adalah analisis saringan, berat isi, berat jenis, kadar air, kadar lumpur.

a. Batu Apung sebagai Agregat Kasar

Batu apung (*pumice*) merupakan agregat ringan alami yang terbuat dari proses vulkanik, melalui dari proses pendinginan dan pemadatan lava cair yang cepat. Pada Proses tersebut membuat gelembung-gelembung udara kecil terjebak pada dalam material,

menciptakan struktur yang porositas tinggi dan ringan. Berat jenis agregat batu apung ini terdapat berbagai variasi yang tergantung terhadap sumber, berat jenis batu apung mulai dari 500 - 1200 kg/m³ (Alishah, 2021). Karena batu apung ini mempunyai struktur yang berpori atau porositas yang tinggi mengakibatkan batu apung ini memiliki penyerapan air yang relatif tinggi.

Pada agregat ringan yang mempunyai struktur berpori dapat mampu menyerap air selama proses pencampuran serta bisa berfungsi sebagai sumber *internal curing* (Rampradheep & Sivaraja, 2016). Pada penelitian Adhikary melaporkan bahwa mekanisme *internal curing* oleh agregat ringan bisa mengurangi susut plastis, peningkatan kuat tekan, dan dapat mendukung hidrasi semen yang lebih sempurna (Adhikary dkk., 2022). Ketika kenaikan kadar agregat ringan batu apung terhadap agregat kasar, berat jenis beton mengalami penurunan yang konsisten. Penurunan tersebut disebabkan karena sifat batu apung yang berpori dan mempunyai berat jenis lebih rendah dibandingkan agregat normal, sehingga beton yang dihasilkan dapat tergolong sebagai beton ringan. Walaupun batu apung memberikan efek positif terhadap berat jenis beton, tetapi batu apung juga memberikan efek negatif pada penurunan kinerja mekanis beton seperti kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik, seiring peningkatan kadar. Penurunan kinerja mekanis ini berkaitan dengan rendahnya berat jenis material, peningkatan porositas, dan lemahnya struktural agregat batu apung (Muhammad dkk., 2024).

Pada penelitian yang dilakukan Muhtar pada substitusi batu apung dengan kadar 50% pada agregat kasar menghasilkan kuat tekan beton sebesar 12,73 Mpa (Muhtar, 2023). Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Karthika dan rekannya, dengan kadar 50% batu apung pada agregat kasar tanpa pozzolan tambahan pada semen menghasilkan kuat tekan beton sebesar 12,2 MPa dengan kuat tekan rencana 30 Mpa (Karthika dkk., 2021).

b. *Diatomit* sebagai Powder

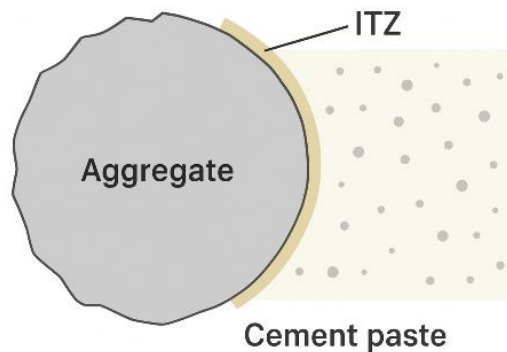
Diatomaceous earth (DE) atau diatomit atau tanah diatom merupakan batuan sedimen yang mempunyai kaya akan silika yang terbuat dari sisa-sisa fosil *diatom*, sejenis ganggang bersel tunggal purba pada cangkang kecilnya mengelupas dan membentuk lapisan tipis setelah berabad-abad. Tanah *diatom* atau *diatomit* ini umumnya digunakan sebagai bahan tambahan atau pengganti sebagian semen karena sifat *pozzolanik*nya yang paling efektif (Kipsanai et al., 2022). Diatomit mempunyai sumber *silika amorf* (SiO₂) yang melimpah dan secara luas digunakan sebagai bahan tambahan mineral ramah lingkungan untuk meningkatkan sifat beton, kadar *silika amorf* yang dimiliki diatomit sebesar 93,1% dengan ukuran rata-rata partikel 1,17375 μm (Sidabutar, 2024).

Kandungan *silika amorf*-nya yang tinggi dapat bereaksi dengan *kalsium hidroksida* (CH) yang merupakan hasil produk sampingan dari proses hidrasi semen dengan air untuk membentuk *kalsium silikat hidrat* (C-S-H). *Kalsium silikat hidrat* (C-S-H) berperan sebagai komponen utama yang memberikan kekuatan pada beton. Proses reaksi *pozzolan* ini tidak hanya mengkonsumsi CH yang merupakan seringkali menjadi titik lemah dalam beton, namun dapat juga menghasilkan produk yang lebih stabil dan padat untuk memperbaiki *Interfacial Transition Zone* (ITZ) serta *filler* halus yang dapat memperbaiki struktur mikro pada pasta semen. Penggunaan diatomit pada pasta semen menghasilkan perbaikan struktur pori. Peningkatan ini disebabkan oleh ukuran partikel *diatomit* yang relatif kecil, reaktivitas kimianya mendukung permukaannya dalam distribusi produk hidrasi sehingga antarmuka antara diatomit dan produk hidrasi menunjukkan kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan antarmuka antara bubuk kuarsa dan produk hidrasi (Ouyang et al., 2023). Substitusi *diatomit* pada semen sebesar 15% secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan sebesar 53% dari kuat tekan rencana, sekaligus memberikan porositas

yang memadai dan permeabilitas air yang lebih baik (Alex et al., 2023). Pada kadar diatomit 5% menghasilkan penurunan porositas beton yang efektif dan dapat memperbaiki karakteristik porinya. Nilai porositas beton berkurang dari 12,68% menjadi 10,82%. Ukuran pori juga mengalami penurunan dari 40,8 nm menjadi 30,4 nm (Li et al., 2023). Secara visual diatomit dilampirkan pada Gambar 1 dan visualisasi *Interfacial Transition Zone* (ITZ) pada Gambar 2.



Gambar 1. Diatomit



Gambar 2. Visualisasi *Interfacial Transition Zone* (ITZ)

Berdasarkan uji *X-ray Fluorescence* didapatkan kandungan yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji *X-ray Fluorescence* Diatomit (Sidabutar, 2024)

Senyawa	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
SiO ₂	93,1	MnO	0,068
K ₂ O	0,5	Fe ₂ O ₃	4,21
CaO	1,7	NiO	0,009
TiO ₂	0,3	CuO	0,036
V ₂ O ₅	0,034	GeO ₂	0,028
Cr ₂ O ₃	0,027	BaO	0,01

Perencanaan desain campuran pada penelitian ini dilakukan dengan kombinasi simple mix desain okamura dan SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 30 MPa, benda uji menggunakan bentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm (Okamura & Ouchi, 2003)(Standar Nasional Indonesia, 2000). Berikut alur perencanaannya:

- Pemilihan kuat tekan karakteristik yang direncanakan. (SNI 03-2834-2000)
- Pemilihan standar deviasi dan perhitungan kuat tekan rencana rata – rata. (SNI 03-2834-2000)

- c. Pemilihan faktor Air-Powder (w/p) (SNI 03-2834-2000)
- d. Pemilihan nilai *slump* (SNI 03-2834-2000)
- e. Pemilihan ukuran maksimum agregat (SNI 03-2834-2000)
- f. Pemilihan kebutuhan air bebas (SNI 03-2834-2000)
- g. Perhitungan berat *powder* (SNI 03-2834-2000)
- h. Pemakaian *superplasticizer*
- i. Perhitungan volume agregat halus, ditetapkan hanya 40% volume agregat halus dari total volume mortar (Okamura)
- j. Perhitungan volume berat agregat kasar, dibatasi jumlahnya maksimal 50% dari volume solid (Okamura)
- k. Proporsi komposisi campuran beton untuk 1 m³.

Maka didapatkan desain campuran dasar dari kombinasi Okamura dan SNI 03-2834-2000, dilampirkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Desain campuran dasar (kg/m³)

Semen	Diatomit	Batu Pecah	Batu Apung	Pasir	Air	SP
584,42	0	721,25	0	703,57	225	8,77

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan penelitian yang dilakukan di laboratorium Material Institut Teknologi Nasional Bandung, dengan melakukan uji *slump flow*, kuat tekan, berat jenis. Didapatkan hasil sebagai berikut:

a. Hasil Uji *Slump Flow*

Slump flow memakai batas minimal diameter 500 mm. Jika lebih kecil, beton terlalu kental, dan jika lebih besar, bisa terjadi segregasi. Setelah dilakukan pengujian *slump flow* didapatkan hasil uji yang dilampirkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji slump flow

Variasi	<i>Slump flow</i> (mm)
BA50D20	560
BA50D15	510
BA50D10	515
BA50D5	505

b. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

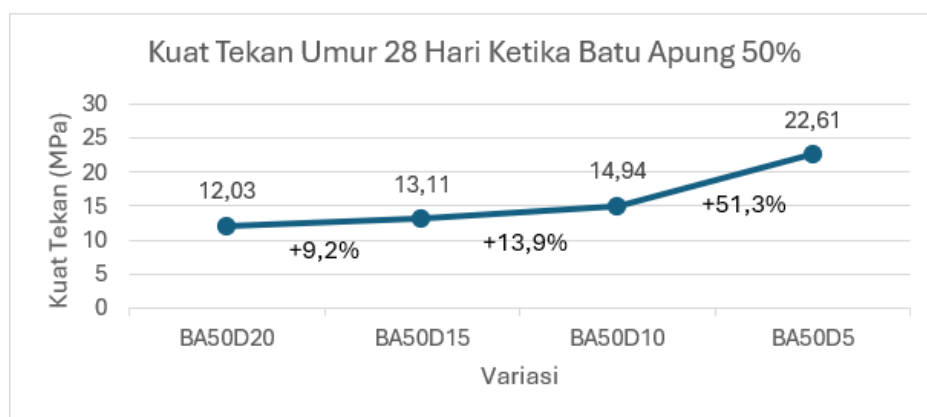
Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan mengacu pada SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, menggunakan *compression machine* terlampirkan pada Gambar 3 (Standar Nasional Indonesia, 2011). Hasil uji kuat tekan dilampirkan pada Tabel 5 dan berdasarkan grafik pada Gambar 4.



Gambar 3. Pengujian Kuat Tekan Menggunakan Alat *Compression Machine*

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Hasil Pengujian Kuat Tekan			
Variasi	Umur (hari)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
BA50D20	28	13,12	12,03
		11,75	
		11,21	
BA50D15		13,6	13,11
		12,08	
		13,65	
BA50D10		14,78	14,94
		16,13	
		13,91	
BA50D5		23,44	22,61
		21,96	
		22,44	



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pada Tabel 5 dan Gambar 3 diperlihatkan bahwa menunjukkan ketika penurunan kadar diatomit dengan kadar batu apung yang tetap 50% mengalami peningkatan kuat tekan beton umur 28 hari secara konsisten. Penurunan kadar diatomit 20% ke 15% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 9,2% dari 12,03 MPa menjadi 13,11 MPa, diikuti dengan peningkatan lagi sebesar 13,9% dari 13,11 MPa menjadi 14,94 ketika kadar diatomit turun

dari 15% ke 10%. Kuat tekan yang meningkat paling signifikan terjadi ketika penurunan kadar diatomit dari 10% ke 5% sebesar 51,3% dari 14,94 MPa menjadi 22,61 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa ketika kadar batu apung yang tinggi, dengan pengurangan kadar diatomit sangat berperan penting dalam mempertahankan fraksi semen aktif, sehingga pembentukan produk hidrasi dan kualitas *Interfacial Transition Zone* (ITZ) menjadi lebih optimal dalam memperbaiki efek negatif dari batu apung yang memiliki porositas tinggi dan butir rendah.

Mekanisme penguatan oleh diatomit dapat terjadi dari efek fisik dan kimiawi. Secara fisik, partikel diatomit yang sangat halus dapat berfungsi sebagai *micro-filler* mengisi rongga dan memadatkan *Interfacial Transition Zone* (ITZ) antara agregat batu apung yang berpori dengan pasta semen. Secara kimiawi, kandungan silika amorf yang tinggi pada diatomit dapat memicu reaksi pozzolanik sekunder dengan *Kalsium Hidroksida* (Ca(OH)_2) hasil hidrasi semen, membentuk *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) tambahan yang dapat memperkuat matriks beton. Penelitian ini juga menemukan bahwa kadar 5% adalah titik optimal, penambahan di atas kadar tersebut justru berujung pada penurunan kekuatan tekan.

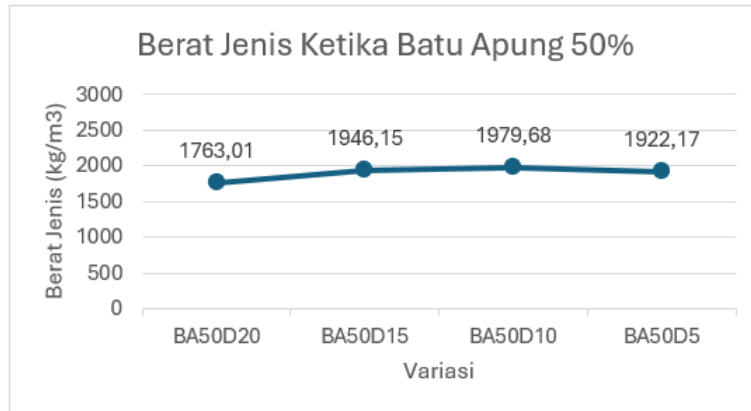
c. Hasil Uji Berat Jenis Beton

Berat jenis beton dihitung menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Persamaan (1). Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan hasil berat jenis yang dilampirkan pada Tabel 6 dan berdasarkan grafik pada Gambar 5.

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat benda uji}}{\text{Volume benda uji}} \quad (1)$$

Tabel 6. Hasil uji berat jenis beton

Variasi	Berat (kg)	Berat jenis (kg/m ³)	Berat jenis rata - rata (kg/m ³)
1	2,966	1888,214245	1763,01
	2,772	1764,710009	
	2,57	1636,112815	
2	3,105	1976,704393	1946,15
	2,988	1902,21988	
	3,078	1959,515659	
3	3,072	1955,695941	1979,68
	3,231	2056,918485	
	3,026	1926,411431	
4	3,09	1967,155097	1922,17
	2,923	1860,839595	
	3,045	1938,507207	



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Berat Jenis Beton

Pada Tabel 6 dan Gambar 5 menunjukkan berat jenis terendah berada pada kadar diatomit 20% dan mengalami peningkatan sebesar 10,4% dari 1763,01 kg/m³ menjadi 1946,15 kg/m³ pada kadar diatomit 15%, sedangkan kadar diatomit dibawah 15% mengalami peningkatan yang relatif kecil. Dengan berkurangnya kadar diatomit meningkatkan proporsi semen aktif dan densitas pasta, beton lebih padat walaupun kadar batu apung tetap tinggi. Pengaruh perubahan kadar diatomit terhadap berat jenis beton menjadi tidak terlalu signifikan, hasil ini menegaskan bahwa kadar batu apung menjadi faktor dominan dalam mengendalikan berat jenis beton

4. KESIMPULAN

Kombinasi substitusi 50% batu apung terhadap agregat kasar dan substitusi 5% diatomit terhadap semen merupakan kombinasi paling optimal yang diperoleh. Kombinasi variasi ini menghasilkan kuat tekan beton sebesar 22,61 MPa pada umur 28 hari, sehingga memenuhi kuat tekan minimum beton ringan struktural menurut SNI 2847:2013. Nilai rata – rata berat jenis sebesar 1992 kg/m³ yang lebih rendah dari beton normal. Meskipun berat jenis tersebut masih berada pada batas atas klasifikasi beton ringan struktural, beton yang dihasilkan tetap menunjukkan kinerja struktural yang memadai dan dapat dipertimbangkan sebagai beton ringan struktural berbasis agregat ringan alami, khususnya ditinjau dari aspek kekuatan dan penggunaan material ringan.

DAFTAR RUJUKAN

- Adhikary, S. K., Ashish, D. K., Sharma, H., Patel, J., Rudzionis, Z., Al-Ajamee, M., Thomas, B. S., & Khatib, J. M. (2022). *Lightweight self-compacting concrete: A review*. 15(July). <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200107>
- Alex, A. G., Jose, P. A., Saberian, M., & Li, J. (2023). *Green Pervious Concrete Containing Diatomaceous Earth as Supplementary Cementitious Materials for Pavement Applications*. <https://doi.org/10.3390/ma16010048>
- Alishah, F. P. (2021). *INTERNATIONAL PUMICE AND PERLITE SYMPOSIUM (PuPeS ' 21) Investigation of the properties of self-compacting lightweight concrete and the pumice used in it Researcher Assistant Professor In Petrology , Islamic Azad University , Shabestar Branch , Shabesta. December, 4–6.* <https://www.researchgate.net/publication/356755925%0AINTERNATIONAL>
- Karthika, R. B., Vidyapriya, V., Sri, K. V. N., Beaula, K. M. G., Harini, R., & Sriram, M. (2021). Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate. *Materials Today:*

- Proceedings*, 43, 1606–1613. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.762>
- Kipsanai, J. J., Wambua, P. M., Namango, S. S., & Amziane, S. (2022). *A Review on the Incorporation of Diatomaceous Earth as a Geopolymer-Based Concrete Building Resource*. <https://doi.org/10.3390/ma15207130>
- Li, C., Li, G., Chen, D., Gao, K., Cao, Y., Zhou, Y., Mao, Y., Fan, S., Tang, L., & Jia, H. (2023). *The Effects of Diatomite as an Additive on the Macroscopic Properties and Microstructure of Concrete*. <https://doi.org/10.3390/ma16051833>
- Muhammad, H., Aslam, S., Ur, A., Onyelowe, K. C., Noshin, S., Yasin, M., Adil, M., Latif, A., Muhammad, H., Aslam, U., & Hussain, S. (2024). Results in Engineering Evaluating the mechanical and durability properties of sustainable lightweight concrete incorporating the various proportions of waste pumice aggregate. *Results in Engineering*, 24(November 2024), 103496. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103496>
- Muhtar. (2023). Performance-based Experimental Study into Quality Zones of Lightweight Concrete Using Pumice Aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 18(February), e01960. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01960>
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. https://www.j-act.org/headers/1_5.pdf
- Ouyang, X., Yu, L., Wu, K., & Chen, J. (2023). *Roles of Diatomite in Hydration, Microstructure and Strength Development of Cement Paste*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107555>
- Rampradheep, G. S., & Sivaraja, M. (2016). *Experimental Investigation on Self-Compacting Self-Curing Concrete Incorporated with the Light Weight Aggregates*. 59(December), 1–11. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2016161075>
- Saidi, T., & Hasan, M. (2020). The effect of partial replacement of cement with diatomaceous earth (DE) on the compressive strength and absorption of mortar Journal of King Saud University – Engineering Sciences The effect of partial replacement of cement with diatomaceous earth (DE) on the compressive strength and absorption of mortar. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, November. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.10.003>
- Sidabutar, L. C. (2024). *Analisa Mekanik Beton Mutu Tinggi yang Mengandung Diatomaceous Earth sebagai Substitusi Parsial Semen*. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/103563>
- Standar Nasional Indonesia. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://repository.unikom.ac.id/64987/1/sni-03-2834-2000.pdf>
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974:2011)*. Badan Standarisasi Nasional. https://imsippoliban.files.wordpress.com/2016/03/10532_1974_2011.pdf
- Standar Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Badan Standarisasi Nasional. <https://share.google/YQ3YABRci5r4hzJST>