

Variasi ukuran *split* Merapi terhadap kuat tekan *porous concrete* dengan *fly ash* PLTU-Tanjung Jati Jepara

Retnowati Setioningsih^{1,*}, Mochamad Teguh²

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, ITNY, D.I. Yogyakarta, Indonesia

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII, D.I. Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Concreting

Porous concrete

Fly ash

FAS

Compressive strength

Abstract

One aspect of infrastructure development is concreting, but this concreting has an impact on the water on the surface not directly seeping into the ground (infiltration) and can cause waterlogging if not channeled to the drainage channel. One of the concrete innovations that has been done is porous concrete. Porous Concrete has a relatively low compressive strength, so to increase it, it is necessary to add Portland cement and fly ash from coal waste. This porous concrete research uses a water cement factor (*fas*) = 0.4 with a cement to coarse aggregate ratio of 1: 6 and used crushed stone from Merapi with a diameter of 5 cm and 3 cm. The cement used is Tiga Roda type 1 cement with the addition of fly ash from the Tanjung Jati PLTU, Jepara, as much as 0% - 50% of the weight of the cement. The test object uses a cylindrical tube with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The test results show that: (1) Merapi spit wear rate of 56.70%; (2) the volume weight of porous concrete is obtained in the range of 1560 - 1755 (kg / m³); (3) the highest compressive strength of 3.85 MPa occurred in pervious concrete with 3 cm diameter aggregate and 50% fly ash addition; (4) the main cause of damage to pervious concrete is the separation from of aggregate from the cement paste.

Corresponding Author:

Retnowati Setioningsih

21934001@students.uii.ac.id

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Porous concrete merupakan salah satu inovasi dari beton yang meniadakan agregat halus (pasir). Beton jenis ini menghasilkan keseragaman rongga dan mengurangi berat volume beton, namun mutu beton menjadi berkurang. Untuk menambah kekuatan beton salah satunya adalah dengan menambah jumlah semen pada adukan

Semen merupakan salah satu bahan susun *porous concrete* yang pada proses pembuatannya dihasilkan Gas Rumah Kaca (GKR) berbentuk emisi CO₂. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu langkah yang dilakukan adalah dengan memproduksi semen dengan diberi bahan tambah yang bersifat semen/*cementitious* (Irawan, 2013). Salah satu bahan tambah yang bersifat *cementitious* adalah abu terbang (*fly ash*).

Fly ash merupakan sisa pembakaran batu bara dari pembangkit listrik, dahulu *fly ash* dilepaskan ke atmosfer dan saat ini disyaratkan harus dikelola. *Fly ash* yang tidak dikelola dengan baik sangat berbahaya dan akan menyebar luas masuk ke air, udara, dan/atau tanah. Gangguan pada sistem pernafasan merupakan salah satu penyakit akibat *fly ash*.

Payung hukum ketentuan *fly ash* terbaru adalah mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 lampiran 14 bagian penjelasan Pasal 459 huruf C diatur tentang *fly ash* dan *bottom ash* hasil pembakaran batu bara dari PLTU yang menggunakan teknologi boiler minimal *Circulating Fluidized Bed* (CFB) tak termasuk limbah B3, *fly ash* tersebut dapat digunakan sebagai material beton.

Fly ash merupakan salah satu bahan tambah yang bersifat semen (cementitious) dan dapat berfungsi sebagai bahan aditif untuk pengisi (*filler*) rongga, sehingga porositas porous concrete dapat dikurangi dan internal kohesi bertambah, serta meningkatkan kuat tekan beton.

Porous concrete yaitu beton berpori, bergradasi celah, permeabel, atau beton porositas, terutama terdiri dari semen, agregat kasar, dan air (Obla, 2010). Dengan porositas tinggi yang memungkinkan air dari presipitasi dan sumber lain mengalir langsung, sehingga mengurangi limpasan (Rakesh dkk., 2019). Porous concrete merupakan beton dengan nilai slump mendekati nol, bahan bergradasi terbuka, yang terdiri dari semen portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, bahan tambah, dan air (ACI Comitee 522, 2010). Kuat tekan porous concrete berkisar antara 2,8 hingga 28 MPa (tetapi umumnya 2,8 hingga 10 MPa) dan kepadatannya berkisar antara 1600 kg/m³ hingga 2000 kg/m³ (NRMCA, 2004).

Dalam *porous concrete*, jumlah air dan bahan semen dikontrol dengan hati-hati digunakan untuk membuat pasta agar membentuk lapisan tebal di sekitar partikel agregat (Joshi & Dave, 2016). Pada campuran porous concrete mengandung sedikit pasir atau tidak ada pasir sehingga terdapat kandungan rongga yang cukup besar (Joshi & Dave, 2016). Untuk melapisi dan mengikat agregat digunakan pasta, sehingga menghasilkan sistem yang memungkinkan air dapat melewati (Joshi & Dave, 2016).

Beberapa keuntungan porous concrete diantaranya: cocok untuk daerah yang sulit mendapat pasir, penggunaan semen lebih sedikit, untuk pemakaian dengan persyaratan kuat tekan yang tidak tinggi, beton menjadi lebih banyak rongga sehingga beton menjadi lebih ringan, lebih *permeable* atau lebih mudah dilalui air, dan cocok sebagai isolator serta permukaan yang tidak rata cocok untuk lapis akustik (Satyarno, 2015). *Porous Concrete* termasuk kategori

beton ringan. Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1850 kg/m³ (SNI 03-3449-2002, 2002).

Betonisasi jalan di Indonesia terdapat peningkatan, karena betonisasi merupakan salah satu aspek perkembangan infrastruktur suatu daerah. Akibat betonisasi jika hujan deras air hujan menjadi sulit terserap dan lama kelamaan akan menjadi banjir (Aswal, 2018). Dengan inovasi porous concrete, merupakan salah satu cara menghindari genangan air akibat betonisasi. Jika air jatuh ke permukaan *porous concrete* akan langsung terserap, dikarenakan adanya rongga-rongga. *Porous concrete* dengan split Merapi 2 cm - 3 cm menggunakan semen tipe PCC merk IV dengan pemanfaatan limbah penggergajian batu, menghasilkan kuat tekan 4,95 MPa dan ikatan lemahnya terjadi di lekatan (Setiawan & Winarno, 2021).

Berdasarkan kondisi geologis, wilayah Indonesia merupakan pertemuan tiga lempeng tektonik besar. Dampaknya Indonesia punya banyak gunung api dan juga menjadi daerah gempa bumi. Dampak positif dari kondisi dari banyak gunung api adalah dihasilkan mineral industri dan bahan bangunan. Pada saat meletus, gunung api mengeluarkan material berupa pasir, agregat kasar, dan batu-batu besar (Wulandari, 2021). Artikel ini akan menguraikan tentang karakteristik teknis porous concrete dengan bahan susun agregat kasar dan fly ash dari aspek diameter agregat, berat volume, kuat tekan, dan tipikal kerusakan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan percobaan langsung. Penelitian ini dilakukan dengan membuat perencanaan komposisi (*mix design*) *porous concrete*. *Mix design* berguna sebagai dasar memilih dan menentukan campuran bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji.

Penelitian dilakukan di Pusat Inovasi Material Universitas Islam Indonesia yang ada di daerah Merapi Yogyakarta. Oleh

karenanya agregat yang digunakan pada penelitian ini split Merapi. Hasil survei *split* Merapi berukuran 1 cm sampai dengan 7 cm, pada penelitian ini menggunakan dua ukuran yaitu ukuran 3 cm dan 5 cm.

Dan penelitian *porous concrete* ini menggunakan f.a.s 0,4 dengan rasio semen dengan split 1:6. i Semen yang digunakan semen Tiga Roda tipe 1. Bahan tambah dalam penelitian ini adalah *fly ash* dari PLTU Tanjung Jati, Jepara dan digunakan 0% s/d 50% dari berat semen.

Uji kekerasan *split* dilakukan dengan pengujian ketahanan aus dengan mesin *Los Angeles*. Persyaratan kekerasan agregat kasar: untuk kekuatan beton kelas I = 50%, untuk beton kelas II = 40%, dan Kelas III = 27 % (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020).

Split dicuci, tujuannya untuk menghilangkan kotoran yang tercampur seperti lumpur dan zat-zat organik. Split dimasukkan ke dalam bak yang berisi air selama 24 jam, kemudian ditiriskan dan diletakkan di atas alas serta diangin-anginkan beberapa saat hingga kelihatan permukaan *split* menjadi keputihan atau kering permukaan (*SSD/saturated surface dry*). Split dibuat SSD sehingga jika dilihat dari luar split kelihatan kering tetapi di dalamnya sudah jenuh air, tujuannya agar *split* yang digunakan dalam campuran beton tidak menghisap atau menambah air pada campuran *porous concrete*.

Cetakan benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Cetakan diisi dengan adukan beton dalam 3 lapis, setiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata, setelah itu permukaan beton diratakan. Jumlah variasi ada 6 buah, tiap variasi berjumlah 3 buah dan variasi agregat 2 macam jadi total 36 benda uji.

Tabel 1. Komposisi material beton *porous* berdasarkan ukuran diameter *split*

Kode BU	Semen (kg)	Air (liter)	<i>Split</i> (kg)	Fly Ash (kg)	Jumlah BU
BP Normal	3,910	1,564	23,460	0	3
BP FA 10	3,910	1,564	23,460	391	3
BP FA 20	3,910	1,564	23,460	782	3
BP FA 30	3,910	1,564	23,460	1173	3
BP FA 40	3,910	1,564	23,460	1564	3
BP FA 50	3,910	1,564	23,460	1955	3

Perawatan beton dilakukan dengan tujuan menjaga agar permukaan beton selalu segar dan lembab sampai beton dianggap cukup keras. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Selain itu perawatan juga mengurangi penyusutan akibat penguapan air berlebihan sehingga timbulnya retakan-retakan dapat dihindari dan mutu beton tetap terjamin. Metode perawatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara dimasukkan dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25° C. Perawatan dimulai pada hari kedua sampai satu hari sebelum dilakukan pengujian (Satyarno, 2015).

Porous concrete adalah bentuk sederhana dari jenis beton ringan. Berat volume beton adalah suatu perbandingan dari berat dan volume dari bahan material, yang dihitung dengan Pers. (1) berikut.

$$BV = \frac{B}{V} \quad (1)$$

Dengan:

BV = berat volume beton (kg/m³)

B = berat beton (kg)

V = volume beton (m³)

Kuat tekan beton merupakan hasil bagi dari beban maksimum dengan luas penampang benda uji. Benda uji diukur sisi-sisinya untuk mengetahui luas permukaan tekannya, kemudian diletakkan pada mesin tekan. Tekanan diberi secara merata dan terus menerus sampai bahan maksimum. Hasil

dari pembacaan dial di analisa dengan Pers. (2) berikut.

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan (MPa),
 P_{maks} = beban tekan maksimum (N)
 A = Luas bidang tekan (mm²)

Hasil dan Pembahasan

Pengujian abrasi/keausan

Pengujian abrasi untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan.

Pada penelitian ini digunakan mesin abrasi *Los Angeles*. Tujuan pengujian adalah mendapatkan nilai keausan, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen (Badan Standarisasi Nasional, 2008). Dari Tabel 2 dapat dilihat untuk split dari Merapi berdasar hasil pengujian nilai abrasinya adalah 56,70%. Menurut (Tjokrodinuldjo, 1996) disimpulkan bahwa split Merapi mendekati memenuhi syarat sebagai agregat yang bisa digunakan untuk beton kelas I.

Tabel 2. Hasil uji kekerasan split Merapi dengan mesin uji *los angeles*

Gradasi		Benda Uji
Lolos / Tembus	Tertahan	
37,5 mm (1 ½ inch)	25 mm (1 inch)	1250
25 mm (1 inch)	19 mm (¾ inch)	1250
19 mm (¾ inch)	12,5 mm (1/2 inch)	1250
12,5 mm (1/2 inch)	9,5 mm (3/8 inch)	1250
Jumlah berat benda uji (gram)	W_1	5000
Berat benda uji tertahan ayakan 1,70 mm setelah abrasi (gram)	W_2	2165
Nilai Abrasi benda uji (%)	$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$	56,70

Komponen kimiawi fly ash

Penelitian ini menggunakan *fly ash* dari PLTU Tanjung Jati, Jepara sebagai bahan tambah, dan komposisi kimia *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 menunjukkan bahwa *fly ash* PLTU Tanjung Jati, Jepara masuk fly ash kelas F

karena kandungan kalsiumnya kurang dari 10% dan kandungan silika oksida, alumina dan ferit lebih dari 70 %. Hal ini sama dengan komposisi kimia *fly ash* yang digunakan Semen Indonesia dan Paiton Surabaya.

Tabel 3. Komposisi kimia fly ash

Parameter uji	Syarat BSN, 2014	Hasil Uji (%)		
		PLTU Tanjung Jati, Jepara	Paiton Surabaya	Semen Indonesia
SiO ₂		53,12	51,03	37,91
Al ₂ O ₃		30,29	25,13	28,52
Fe ₂ O ₃		0,05	9,66	12,03
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (silika oksida, alumina dan ferit)	> 70%	83,46	85,82	78,46
CaO (kalsium)	< 10%	4,32	5,49	8,57
SO ₃ (sulfur trioxide)	< 5%	1,95	0,51	0,91

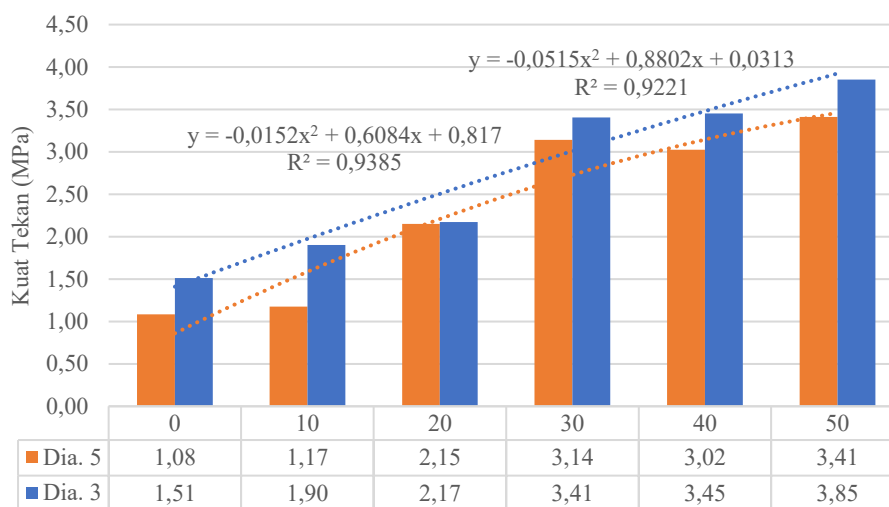
Berat volume agregat dan kuat tekan porous concrete

Prosentasi batas nilai yang direkomendasikan untuk penggantian *fly ash* kelas F 15% – 25% dari berat semen. Pada penelitian ini penggunaan *fly ash* dibatasi sampai dengan 50% (ACI Commitee 211, 1993). Berdasarkan Tabel 4, hasil

perhitungan berat volume *porous concrete* berkisar 1560 kg/m³ - 1755 kg/m³. Jika melihat hasil pengujian tersebut *porous concrete* yang dihasilkan dapat dikategorikan beron ringan karena mempunyai berat kurang dari 1850 kg/m³, masuk kategori beton ringan (SNI 03-3449-2002, 2002).

Tabel 4. Hasil pengujian berat volume dan kuat tekan *porous concrete* terhadap variasi *fly ash*

Kadar <i>fly ash</i> (%)	Berat Volume (kg/m ³)		Kuat Tekan (MPa)	
	Diameter 3 cm	Diameter 5 cm	Diameter 3 cm	Diameter 5 cm
0	1605,30	1574,89	1,51	1,08
10	1561,09	1605,01	1,90	1,17
20	1610,53	1642,21	2,17	2,15
30	1704,48	1694,52	3,41	3,14
40	1709,24	1751,49	3,45	3,02
50	1671,44	1708,60	3,85	3,41



Gambar 1. Grafik peningkatan kuat tekan *porous concrete* akibat penambahan *fly ash*

Hasil pengujian kuat tekan *porous concrete* umur 28 hari dengan bahan tambah *fly ash* dengan menggunakan diameter split 3 dan 5 cm, dapat dilihat pada Tabel 4. Dapat dilihat bahwa semakin ditambahkannya kadar *fly ash* pada adukan *porous concrete*, kuat tekan betonnya semakin bertambah. Dari Tabel 4 tersebut juga terlihat semakin kecil diameter agregat yang digunakan maka kuat tekan betonnya semakin bertambah.

Semakin bertambahnya kadar *fly ash* kuat tekan *porous concrete* untuk diameter agregat 30 mm dan 50 mm mengalami peningkatan, hal ini bisa diamati dari Gambar 1. Bahan tambah *fly ash* yang dimasukkan menambah jumlah pasta pada *porous concrete*, yang mengisi ruang kosong diantara agregat. Jika diamati dari Gambar 1 diameter agregat 30 mm kuat tekannya lebih tinggi dibandingkan dengan diameter agregat 50 mm.

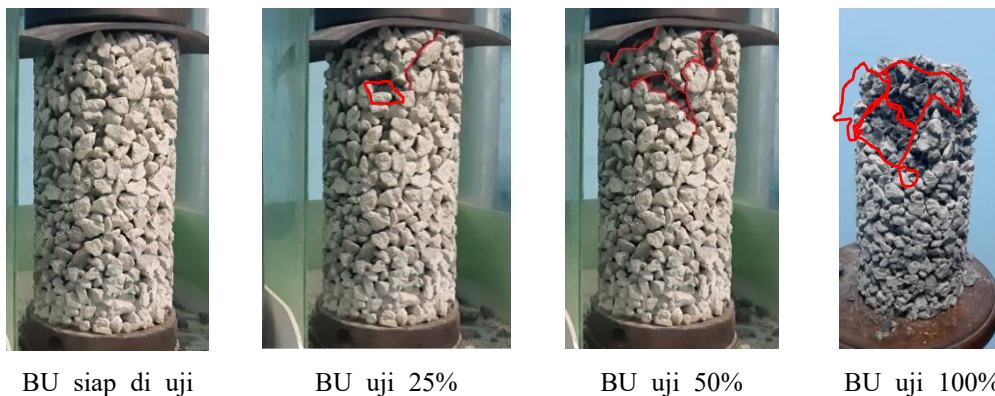
Lekatan porous concrete

Kerusakan *porous concrete* polanya didominasi oleh lepasnya ikatan pasta semen dengan agregat. Agregat banyak terlepas dikarenakan jumlah pasta semen dan juga dengan adanya banyak rongga dari benda uji *porous concrete*. Hal ini sejalan dengan yang dilakukan oleh (Setiawan & Winarno, 2021) yang juga melakukan penelitian *porous concrete* dengan agregat Merapi tapi dengan bahan tambah abu batu.

Ketika ditambahkan sejumlah *fly ash* pada adukan *porous concrete*, kuat tekan beton semakin meningkat. Hal ini dapat dikatakan

dengan ditambahkan *fly ash* membuat jumlah pasta semen semakin banyak, sehingga meningkatkan kepadatan *porous concrete*. Kepadatan *porous concrete* dengan ditambahkan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan.

Jadi terlihat bahwa kuat tekan *porous concrete* dipengaruhi oleh diameter agregat dan jumlah pasta semen. Semakin banyak *fly ash* ditambahkan pada *porous concrete*, maka semakin banyak pasta semennya sehingga menambah banyaknya pasta yang menyelimuti agregat sehingga menambah kuat tekan betonnya.



Gambar 2. Kerusakan pada lekatan antar agregat pada *porous concrete*

Kesimpulan

Hasil akhir pengujian *porous concrete* adalah pelepasan-pelepasan agregat, seperti disajikan dalam Gambar 2. Penambahan kandungan *fly ash* untuk bahan susun *porous concrete* dengan Persamaan 2 ternyata meningkatkan kuat tekannya. Penambahan *fly ash* untuk *porous concrete* yang menggunakan agregat yang lebih kecil menghasilkan kuat tekan lebih tinggi 11,4%. Kuat tekan tertinggi terjadi pada *porous concrete* yang menggunakan agregat diameter 3 mm dan *fly ash* 50% yaitu sebesar 3,85 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Berbagai pihak yang telah membantu sehingga terlaksananya penelitian yang merupakan bagian dari disertasi kami di Universitas Islam Indonesia kami haturkan

terima kasih, kepada Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII, Laboratorium Bahan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) dan PT Solusi Bangun Beton Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- ACI Comitee 522. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. In American Concrete Institute (Vol. 10, Issue Reapproved).
- ACI Commitee 211. (1993). Guide for Selecting Proportions for High Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash (ACI 211.4R-93). ACI Manual of Concrete Practice, part 1. <https://doi.org/10.14359/9754>
- Aswal, W. (2018). Air dan Bencana Alam Perusak Utama Jalan. 27 October 2018. <http://dbmtr.jabarprov.go.id/air-dan-bencana-alam-perusak-utama-jalan/>
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Sni

- 2417:2008, 20.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Oktober, 1036.
- Irawan, R. R. (2013). Semen Portland di Indonesia untuk Aplikasi Beton Kinerja Tinggi. https://binamarga.pu.go.id/bintekjatan/repositori/system/files/1_SemenPortlandBKT%281%29.pdf
- Joshi, T., & Dave, U. (2016). Evaluation of strength, permeability and void ratio of Pervious concrete with changing W/C ratio and aggregate size. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(4), 276–284.
- NRMCA. (2004). CIP 38 - Pervious Concrete. NRMCA-National Readymix Concrete Association, National ready mixed concrete association, 3.
- Obla, K. H. (2010). Pervious concrete - An overview. *Indian Concrete Journal*, 84(8), 9–18.
- Rakesh, D., Dr. Kavitha, S., & Kala, D. T. F. (2019). Performance of pervious concrete pavement. *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, 5(3), 13–16. www.newengineeringjournal.in
- Satyarno, I. (2015). Perancangan Praktis Campuran Beton.
- Setiawan, A., & Winarno, S. (2021). Pengaruh Penambahan Abu Batu sebagai Pengisi terhadap Kuat Tekan Beton dan Pola Kerusakan pada Beton Tanpa Pasir. *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur Abad ke-21*.
- SNI 03-3449-2002. (2002). Tata cara rencana pembuatan campuran beton ringan dengan agregat ringan. Yayasan LPMB, 1–32.
- Tjokrodinuldjo, K. (1996). *Teknologi Beton* (1st ed.). NAFIRI, Yogyakarta.
- Wulandari, T. (2021). Kondisi Geologis Indonesia: Pengertian, Penjelasan, dan Dampaknya Lengkap. <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-5669463/kondisi-geologis-indonesia-pengertian-penjelasan-dan-dampaknya-lengkap>