

# Pengaruh Substitusi Limbah Batu Granit Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Dan Permeabilitas Pada Beton Porous

Ramadhani Karyadhara R<sup>1</sup>, Rizki Nurochim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : [ramadhani.karyadhara.tppg21@polban.ac.id](mailto:ramadhani.karyadhara.tppg21@polban.ac.id)

E-mail : [rizki.nurochim.tppg21@polban.ac.id](mailto:rizki.nurochim.tppg21@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Beton porous memiliki kelebihan yakni dapat menginfiltrasi air ke dalam lapisan tanah dibawahnya. Selain kelebihan, beton porous memiliki kelemahan yaitu nilai kuat tekan yang belum bisa disamakan dengan beton normal sehingga pengaplikasian beton porous saat ini masih terbatas. Pada penelitian ini upaya untuk meningkatkan kuat tekan beton porous adalah melalui substitusi sebagian agregat kasar dengan limbah batu granit. Presentase yang digunakan dalam substitusi agregat kasar oleh limbah batu granit dalam penelitian ini adalah sebesar 0%, 20%, 30% dan 40%. Nilai kuat tekan beton porous meningkat sebesar 33,67%, 27,1%, 17,31% pada variasi substitusi 20%, 30% dan 40% dibandingkan dengan beton porous normal pada variasi substitusi granit 0%. Sedangkan nilai permeabilitas beton porous pada variasi substitusi granit sebesar 30% dan 40% mengalami peningkatan (1,14 cm/s) dibanding dengan beton porous normal dengan 0% substitusi granit (1,03 cm/s).

### Kata Kunci

Beton Porous, Granit, Kuat Tekan, Permeabilitas

*Porous concrete has an excellent ability in infiltrating water into the ground layer beneath, then reduce noises from object interaction above the concrete and the road. Aside from its ability, porous also has its weakness in which its compressive strength is not yet comparable to that of ordinary concrete so that the application of porous is still limited. In this thesis, the attempt to strengthen porous concrete compressive strength is by substituting some of the coarse aggregate with granite waste. Granite waste has better density than those of common aggregate (split). The percentage used in coarse aggregate substitution with granite waste for this thesis are 0%, 20%, 30% dan 40%. The compressive strength value of porous concrete increased by 33.67%, 27.1%, 17.31% with granite substitution variations 20%, 30% and 40% compared to normal porous concrete with 0% granite substitution. While the permeability value of porous concrete at granite substitution variations of 30% and 40% increased (1.14 cm/s) compared to normal porous concrete with 0% granite substitution (1.03 cm/s).*

### Keywords

*Pervious Concrete, Granite, Compressive Strength, Permeability*

## 1. PENDAHULUAN

Beton porous merupakan produk *green construction* yang memiliki 15% – 20% celah yang berfungsi untuk meresapkan dan mengalirkan air ke dalam tanah (1). Kuat tekan beton dengan tidak menggunakan agregat halus umumnya lebih rendah dibanding kuat tekan beton dengan menggunakan agregat halus disebabkan oleh tingginya tingkat rongga/porositas. Salah satu cara untuk mengontrol dan meningkatkan kekuatan pada beton porous adalah dengan menambahkan atau mengganti material menggunakan material yang memiliki kekuatan lebih besar sebagai agregat kasar.

Penulis menggunakan material limbah granit sebagai bahan substitusi agregat kasar pada beton porous. Batu granit adalah batuan beku yang terbentuk dari pendinginan dan kristalisasi magma di bawah permukaan bumi dengan kurun waktu yang lama. Batu granit memiliki kepadatan yang relatif tinggi, yaitu sekitar 2,48–2,49 g/cm<sup>3</sup>, yang lebih besar daripada kepadatan batu alam biasa sekitar 1,5–2,5 g/cm<sup>3</sup> (2) serta memiliki kemampuan menyerap air lebih baik sebesar 0,74% untuk granit dan sebesar 1,51% untuk batu biasa,

selain itu granit memiliki ketahanan cuaca yang lebih baik dari batu biasa.

Berdasarkan kondisi tersebut maka penulis bermaksud melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan limbah granit sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada beton porous dengan variasi penambahan sebesar 0%, 20%, 30% dan 40%.

## 2. LANDASAN TEORI

### 1. Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013 (3), beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*Admixture*) membentuk massa padat yang setelah dicampur merata menghasilkan suatu campuran plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras/padat (4). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (*f'c*) pada usia 28 hari.

### 2. Beton Porous

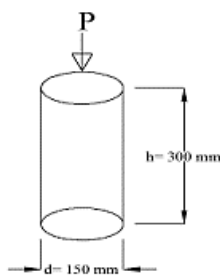
Sementara itu menurut ACI 522 R-10 (5) beton porous adalah proporsi beton dengan semen *hydraulic* yang memiliki rongga – rongga udara yang saling terhubung sehingga menghasilkan material dengan permeabilitas tinggi, yang membiarkan air dengan mudah mengalir. Menggunakan agregat dengan estándar ASTM C33 untuk kebutuh agregat (6). Fungsi lain dari beton berongga yaitu sebagai lapis permukaan yang menahan gerusan air terhadap permukaan tanah sehingga mampu mengurangi laju erosi (7). Ciri utama beton porous adalah kemampuannya untuk menyeimbangkan sifat mekanik (kuat tekan) dan hidraulik (permeabilitas) (8). Namun, beton porous memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan beton normal karena adanya banyak rongga.

Menurut ACI 522 R-10 rongga udara dalam beton porous yang ideal berkisar pada angka 15 – 25 % untuk beton porous yang dibuat dengan menggunakan satu ukuran agregat. Sedangkan rongga udara 13 – 25 % untuk beton porous yang menggunakan 2 atau lebih ukuran agregat. Rongga udara pada beton porous sangat dipengaruhi dari beberapa faktor diantaranya gradasi agregat yang digunakan, faktor air semen, volume pasta semen dan proses pemadatan yang dilakukan. Penerapan beton porous dapat dilakukan sebagai bahan penutup halaman yang dapat meloloskan air (9).

### 3. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton adalah sebuah tes yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimal dari benda uji. Menurut SNI 1974:2011 Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji (10).

Mekanisme pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan memberikan beban secara aksial oleh mesin tekan dengan mengukur besarnya beban yang dapat dipikul oleh satu satuan luas beton hingga menyebabkan benda uji beton hancur atau kegagalan akibat dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan. Beton porous dapat memperoleh kekuatan maksimum namun dengan pengurangan rongga udara yang dialaminya. Hasil ini mengakibatkan hilangnya efisiensi resapan pada beton porous (11).



Gambar 1 Dimensi Benda Uji Kuat Tekan  
Sumber: dspace.uii.ac.id

Untuk kuat tekan beton porous digunakan rumus sebagai berikut sebagai pendekatan dalam mencari mutu.

- Kuat tekan beton ( $f'c$ )

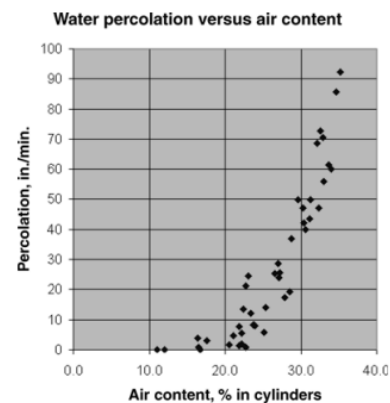
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

- Kuat tekan beton ( $f'c$ )

$$f'cr = \frac{\Sigma f'c}{n} \quad (2)$$

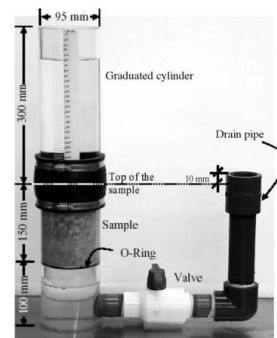
### 4. Permeabilitas

Permeabilitas beton menurut ACI 522 R-10 adalah kemampuan beton untuk menghambat atau mengizinkan pergerakan fluida, baik itu air maupun cairan melalui rongga atau pori-pori di dalam struktur beton. Beton yang memiliki permeabilitas rendah dianggap lebih baik dikarenakan dapat mencegah masuknya air dan zat berbahaya yang bisa merusak campuran beton dan memperpendek umur beton. Hubungan antara rongga udara dan penyerapan dari campuran beton porous. Karena persentase penyerapan meningkat berbanding lurus dengan rongga udara dan secara bersamaan berbanding terbalik dengan menurunnya kuat tekan. Hubungan antara rongga udara dan kemampuan menyerap air pada beton porous (12). Seperti yang ditunjukkan ACI 522 R-10 pada gambar dibawah.



Gambar 2 Hubungan Rongga Udara dan Permeabilitas  
Sumber: ACI 522 R-10

Kemampuan permeabilitas dari beton porous dapat diukur dengan alat *falling-head*. Salah satu cara pengujian adalah uji aliran (*flow test*) yaitu pengujian untuk mengukur permeabilitas beton terhadap air bila air dapat mengalir melalui sampel beton.



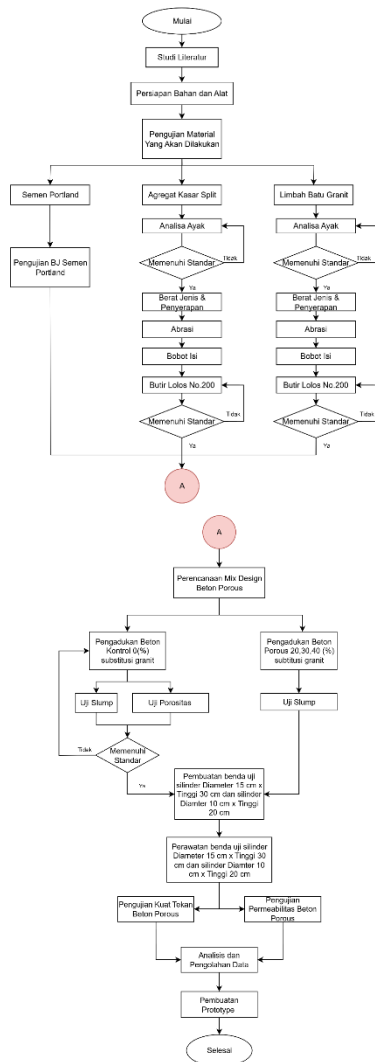
Gambar 3 Alat Pengujian Permeabilitas Beton Porous  
Sumber : ACI 522 R-10

Dari data pengujian permeabilitas ini dapat ditentukan koefisien permeabilitas yang menunjukkan suatu angka kecepatan rembesan fluida dalam suatu zat (13). Koefisien permeabilitas untuk uji aliran dihitung dengan rumus sesuai pada ACI 522 R-10.

$$k = \frac{A}{t} \quad (3)$$

### 3. METODOLOGI

Penelitian ini memiliki tujuan yakni mengetahui pengaruh penambahan limbah granit terhadap kuat tekan dan permeabilitas beton porous, khususnya dalam mengalirkan air melalui rongga udara. Untuk memperoleh tujuan tersebut maka diperlukan tahapan atau prosedur penelitian yang tertuang didalam bagan alir seperti pada dibawah.



Gambar 4 Metodologi Penelitian

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

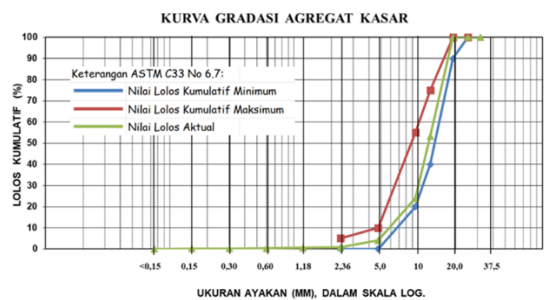
Hasil dan pembahasan penelitian ini terdiri dari pengujian material hingga pengujian beton keras.

#### 4.1. Pengujian Agregat Kasar

Agregat yang dinyatakan layak untuk dipakai dalam perancangan Mix Design beton porous ini adalah agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C33/C33M ayakan no. 67.

Tabel 1 Hasil analisa saringan agregat kasar

Ukuran Ayakan (mm)	Spesifikasi Lolos Kumulatif ASTM C33 No.67 (%)		Lolos Aktual (%)
	Minimum	Maksimum	
	25,00	100	
19,00	90	100	100,00
12,50	-	-	53,29
9,50	20	55	24,07
4,75	0	10	4,05
2,36	0	5	0,73



Gambar 5 Kurva gradasi agregat kasar

Berdasarkan kurva gradasi agregat kasar, gradasi agregat telah memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton porous

Tabel 2 Hasil pengujian agregat kasar

No	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Analisa
1	Berat Jenis & Penyerapan	a. BJ SSD	2,5 – 2,7 gram/cm <sup>3</sup> 2,60 gram/cm <sup>3</sup>
		b. BJ Kering Oven	Min. 2,5 gram/cm <sup>3</sup> 2,53 gram/cm <sup>3</sup>
		c. BJ Apparent	Min. 2,5 gram/cm <sup>3</sup> 2,71 gram/cm <sup>3</sup>
2	Penyerapan Air	d. Maks 3%	2,71%
		Maks 50%	18%
3	Kadar butir lolos ayakan 0,075 mm	Maks 1%	0,97%
4	Bobot Isi	a. Bobot isi gembur	Min 1,40 gram/cm <sup>3</sup> 1,32 gram/cm <sup>3</sup>
		b. Bobot isi padat	Min. 1,40 gram/cm <sup>3</sup> 1,43 gram/cm <sup>3</sup>

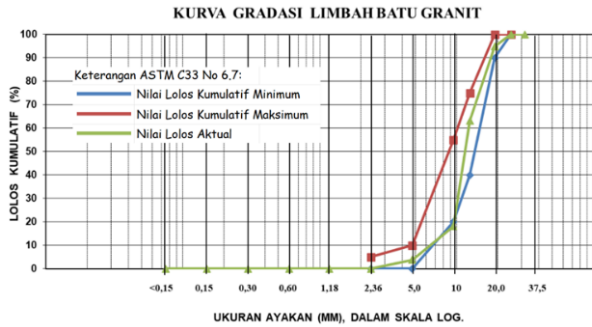
Berdasarkan hasil pengujian, agregat kasar telah memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton porous.

#### 4.2. Pengujian Agregat Kasar Granit

Limbah granit dipecah sehingga membentuk seperti agregat kasar. Maka limbah granit diuji selanjutnya agregat kasar dengan spesifikasi ayakan no.67 ASTM C33/C33M.

Tabel 3 Hasil analisa saringan limbah granit

Ukuran Ayakan (mm)	Spesifikasi Lolos Kumulatif ASTM C33 No.67 (%)		Lolos Aktual (%)
	Minimum	Maksimum	
	25,00	100	
19,00	90	100	94,87
12,50	-	-	63,12
9,50	20	55	18,16
4,75	0	10	3,78
2,36	0	5	0,00



Gambar 6 Kurva gradasi limbah granit

Berdasarkan kurva gradasi limbah granit, gradasi agregat telah memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton porous

Tabel 4 Hasil pengujian agregat kasar

No	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Analisa
1	Berat Jenis & Penyerapan		
	e. BJ SSD	2,5 – 2,7 gram/cm <sup>3</sup>	2,86 gram/cm <sup>3</sup>
	f. BJ Kering Oven	Min. 2,5 gram/cm <sup>3</sup>	2,84 gram/cm <sup>3</sup>
g. BJ Apparent	Min. 2,5 gram/cm <sup>3</sup>	2,90 gram/cm <sup>3</sup>	
	h. Penyerapan Air	Maks 3%	0,76%
2	Abrasi	Maks 50%	18,95%
3	Kadar butir lolos ayakan 0,075 mm	Maks 1%	0,93%
4	Bobot Isi		
	c. Bobot isi gembur	Min 1,40 gram/cm <sup>3</sup>	1,43 gram/cm <sup>3</sup>
	d. Bobot isi padat	Min. 1,40 gram/cm <sup>3</sup>	1,58 gram/cm <sup>3</sup>

Berdasarkan hasil pengujian, limbah granit telah memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai material pembentuk beton porous.

### 4.3. Pengujian Semen

Semen yang digunakan merupakan semen tipe I jenis OPC (Ordinary Pozzolan Cement) dari merk Jakarta. Semen diuji pada suhu 25° Celcius dan kelembaban sebesar 85%.

Tabel 5 Hasil pengujian agregat kasar

Aspek	Simbol/Perhitungan	Sampel	
		I	II
Berat benda uji (gram)	B	64,03	64
Volume awal (ml)	V1	0,50	0,50

Volume Akhir (ml)	V2	21,80	21,60
BJ Semen	$\frac{B}{(V2 - V1) * p}$	3,01	3,03
		3,02	

Semen yang diuji dapat dinyatakan murni, maka semen dapat dipakai sebagai material pembentuk beton porous.

### 4.4. Proporsi Material Pembentuk Beton Porous

Setelah didapatkan spesifikasi material melalui pengujian, maka perancangan mix design beton porous dapat dilakukan. Metode yang digunakan adalah metode ACI 522R-10 Bab 6 dengan nilai estimasi porositas rencana yaitu sebesar 15% dan volume sebesar 0,059 m<sup>3</sup> untuk setiap variasi.

Tabel 6 Kebutuhan material pengujian dengan 0% substitusi granit

Substitusi Granit 0%		
Komponen Pembentuk	Berat (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
Agregat Kasar (Split)	103.353	0.040
Agregat Kasar (Granit)	0.000	0.000
Semen	30.703	0.010
Air	10.439	0.010

Tabel 7 Kebutuhan material pengujian dengan 20% substitusi granit

Substitusi Granit 0%		
Komponen Pembentuk	Berat (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
Agregat Kasar (Split)	82.683	0.032
Agregat Kasar (Granit)	20.671	0.007
Semen	30.703	0.010
Air	10.439	0.010

Tabel 8 Kebutuhan material pengujian dengan 30% substitusi granit

Substitusi Granit 0%		
Komponen Pembentuk	Berat (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
Agregat Kasar (Split)	72.347	0.028
Agregat Kasar (Granit)	31.006	0.011
Semen	30.703	0.010
Air	10.439	0.010

Tabel 9 Kebutuhan material pengujian dengan 40% substitusi granit

Substitusi Granit 0%		
Komponen Pembentuk	Berat (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )
Agregat Kasar (Split)	62.012	0.024
Agregat Kasar (Granit)	41.341	0.014
Semen	30.703	0.010
Air	10.439	0.010

### 4.5. Pengujian Slump Test

Slump beton merupakan tingkat kekentalan adonan beton yang mempengaruhi permeabilitas, workabilitas dan proses pengerjaan (14).

Cetakan diangkat dan beton dibiarkan sampai terjadi penurunan pada permukaan bagian atas beton. Jarak antara posisi permukaan semula dan posisi setelah penurunan pada pusat permukaan atas beton diukur dan dilaporkan sebagai nilai slump beton (15). Nilai slump beton porous diharuskan mendekati angka 0 cm.

Tabel 10 Hasil pengujian slump

Variasi Substitusi Granit	Nilai Slump (cm)
0%	0,1
20%	0,08
30%	0,06
40%	0,02

Hasil uji slump menunjukkan bahwa nilai slump tertinggi sebesar 10 mm pada variasi 0% granit masih berada dalam batas toleransi standar ACI 522R-10, yang mensyaratkan nilai slump mendekati 0 cm.

#### 4.6. Pengujian Porositas

Pengujian dilakukan dengan cara menimbang berat sampel beton porous dalam air untuk kondisi jenuh, dilanjutkan dengan menimbang sampel beton dalam keadaan SSD dan kering oven untuk mendapat presentase pori.

Tabel 11 Hasil pengujian porositas

Variasi Substitusi Granit	Sampel	Porositas (%)	Porositas Rata-rata (%)
0%	SBP1	13,32	14,59
	SBP2	14,22	
	SBP3	15,17	
	SBP4	15,04	
	SBP5	15,21	
20%	SBP1	14,20	14,81
	SBP2	15,66	
	SBP3	14,77	
	SBP4	14,46	
	SBP5	14,96	
30%	SBP1	14,97	15,08
	SBP2	15,01	
	SBP3	15,40	
	SBP4	14,51	
	SBP5	15,50	
40%	SBP1	14,68	14,98
	SBP2	15,45	
	SBP3	14,68	
	SBP4	14,76	
	SBP5	15,31	

Nilai porositas dinyatakan stabil dan sesuai dengan porositas rencana yakni 15%.

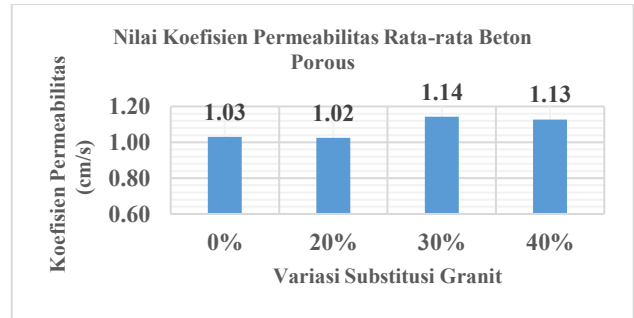
#### 4.7. Pengujian Permeabilitas

Nilai permeabilitas beton porous ditentukan melalui pengujian menggunakan alat *falling head parameter*. Kemampuan beton porous dalam menyalurkan air didefinisikan melalui nilai koefisien permeabilitas (cm/s).

Tabel 12 Hasil pengujian permeabilitas

Variasi Substitusi Granit	Sampel	Koefisien Permeabilitas (k) (cm/s)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (cm/s)
0%	1	1.20	1,03
	2	0.98	
	3	0.76	
	4	1.18	
20%	1	1.07	1,02
	2	1.07	
	3	0.83	
	4	1.12	
30%	1	1.20	1,14
	2	1.18	

40%	3	1.14	1,13
	4	1.05	
	1	1.19	
	2	1.19	
	3	0.98	
	4	1.14	



Gambar 7 Grafik pengujian permeabilitas

Dari hasil pengujian koefisien permeabilitas beton porous pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton porous sudah memenuhi standar yang ditetapkan

#### 4.8. Pengujian Kuat Tekan

Nilai kuat tekan ditentukan dari beban paling besar yang mampu ditahan oleh benda uji saat diberikan tekanan menggunakan mesin uji tekan hidrolik. Beton diuji pada umur 14 hari dan 28 hari.

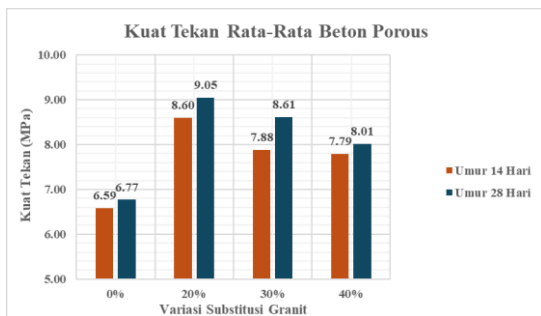
Tabel 13 Hasil pengujian kuat tekan umur beton 14 hari

Benda Uji Tekan Umur 14 Hari			
Variasi Substitusi Granit	Sampel	Kuat Tekan ( $f_c$ ) (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata ( $f_{cr}$ ) (Mpa)
0%	1	5,68	6,59
	2	6,70	
	3	6,81	
	4	7,16	
20%	1	7,64	8,60
	2	9,87	
	3	8,87	
	4	8,01	
30%	1	8,45	7,88
	2	6,52	
	3	8,54	
	4	8,02	
40%	1	7,72	7,79
	2	6,77	
	3	8,90	
	4	7,75	

Tabel 14 Hasil pengujian kuat tekan umur beton 28 hari

Benda Uji Tekan Umur 28 Hari			
Variasi Substitusi Granit	Sampel	Kuat Tekan ( $f_c$ ) (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata ( $f_{cr}$ ) (Mpa)
0%	1	6,36	6,77
	2	6,89	
	3	6,25	
	4	7,58	
20%	1	11,04	9,05
	2	8,43	
	3	9,14	
	4	7,60	
30%	1	9,71	8,61
	2	10,72	

Benda Uji Tekan Umur 28 Hari			
Variasi Substitusi Granit	Sampel	Kuat Tekan ( $f_c$ ) (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata ( $f_{cr}$ ) (Mpa)
40%	3	7,23	8,01
	4	6,78	
	1	8,08	
	2	7,99	
	3	8,08	
	4	7,90	

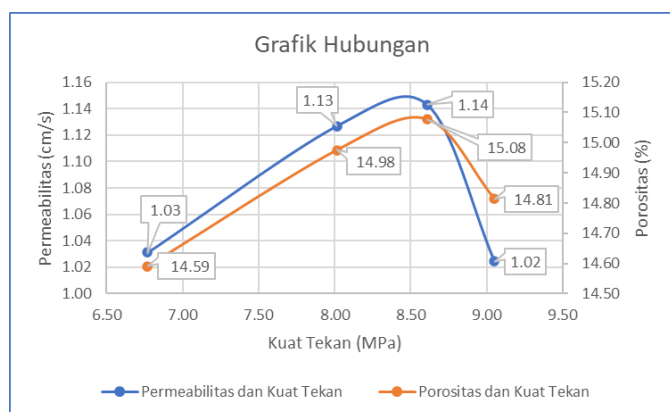


Gambar 8 Grafik pengujian kuat tekan

Nilai kuat tekan mengalami peningkatan pada variasi substitusi 20% granit. Namun, pada variasi substitusi 30% granit mengalami penurunan dibandingkan dengan variasi sebelumnya yakni 20% dan semakin menurun pada variasi substitusi granit 40%. Bila dibandingkan terhadap beton porous normal (0% substitusi granit) kuat tekan mengalami peningkatan yang berbeda-beda. Didapatkan pada variasi 20% granit mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 33,67%, variasi 30% granit mengalami peningkatan sebesar 27,17%, dan variasi 40% granit mengalami peningkatan sebesar 17,31% dibandingkan dengan beton porous normal (0% substitusi granit).

#### 4.9. Grafik hubungan

Setelah didapatkannya data dari masing-masing pengujian beton keras, maka dibuat grafik hubungan untuk setiap aspek pengujian beton keras.



Gambar 9 Grafik Hubungan

Dari grafik diatas, dapat disimpulkan nilai porositas dan koefisien permeabilitas dinyatakan berbanding lurus. Namun sebaliknya, antara nilai kuat tekan dengan nilai porositas maupun koefisien permeabilitas berbanding terbalik. Dengan begitu dapat disimpulkan, semakin besar nilai kuat

tekan makan semakin kecil pula nilai porositas dan koefisien permeabilitasnya.

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

1. Substitusi limbah batu granit dengan variasi sebesar 20%, 30% dan 40% sebagai agregat kasar dapat mempengaruhi kuat tekan beton porous. Didapatkan kuat tekan rata-rata pada variasi 20% granit mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 33,67%, variasi 30% granit mengalami peningkatan sebesar 27,17%, dan variasi 40% granit mengalami peningkatan sebesar 17,31% dibandingkan dengan beton porous normal (0% substitusi granit).
2. Nilai koefisien permeabilitas rata-rata meningkat dari 1,03 cm/s (0%) menjadi 1,14 cm/s pada variasi substitusi 30% granit dan sedikit menurun menjadi 1,13 cm/s pada 40% substitusi. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi limbah granit dapat memperbaiki kemampuan aliran air melalui beton porous.
3. Substitusi limbah granit yang menghasilkan kuat tekan maksimum adalah substitusi sebesar 20% dengan nilai kuat tekan rata-rata masing-masing pada umur beton 14 hari dan 28 hari sebesar 8,60 Mpa dan 9,05 Mpa. Sementara nilai koefisien permeabilitas maksimum terdapat pada substitusi granit sebesar 30% dengan nilai koefisien permeabilitas sebesar 1,14 cm/s.

### 5.2. Saran

1. Penelitian dapat dilakukan kembali dengan menambahkan agregat halus sebesar 5 – 10% untuk hasil kuat tekan yang lebih maksimal dengan memperhitungkan kemampuan *hydraulic* beton porous.
2. Penelitian dapat dilakukan kembali dengan menambahkan material pengganti semen OPC agar beton porous yang dihasilkan menjadi lebih ramah lingkungan karna pengurangan emisi karbon.
3. Penelitian dapat digunakan untuk masyarakat umum khususnya pada lingkungan industri dengan elevasi tanah yang rendah dan minim daerah penyerapan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Zen D. Beton Porous Adalah Beton Non Pasir dan berpori. BetonPorous.com. 2020 Jul 7. Available from: <https://www.betonporous.com/2020/01/15/beton-porous/>
2. Guskarnali HO, D A. Pengaruh Sifat Fisik Batuan Terhadap Kuat Tekan Uni Aksial Pada Batu Granit di Pulau Bangka. J Geomine. 2020;1.
3. SNI 1974:2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2011.
4. Tjokrodinuljo, Kardiyono. Teknologi Beton. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM; 1992.
5. American Concrete Institute. ACI 522R-10 Report of Pervious Concrete. Farmington Hills: American Concrete Institute; 2010.

6. ASTM C33/C33M. Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken: ASTM International; 2023.
7. Agus I. Desain Beton Berongga (Porous Concrete) Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Sebagai Beton Ramah Lingkungan. *J Media Inovasi*. 2022:2–6.
8. Ginting A. Perbandingan Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Bergradasi Seragam dengan Gradasi Menerus. *ReTII*. 2015:2–7.
9. Dwita E, Manalu DF, Sabri F. Analisis Pengaruh Penggunaan Batu Pecah Granit Pulau Bangka terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Berpori sebagai Bahan Penutup Halaman. *J Fprofil*. 2017:1–4.
10. SNI 1974:2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional; 2011.
11. Fajar MN, Purwantoro DS, Saputra A, Iqbal, Makaliwe G. Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton Porous dengan Perbandingan Komposisi terhadap Nilai Permeabilitas. *J UMJ*. 2024:2–7.
12. Riyanto E, Setiawan A, Taufik M. Pengaruh Ukuran Agregat Kasar terhadap Karakteristik Infiltrasi dan Permeabilitas Beton Porous. *J Ilmu Tek Sipil Surya Beton*. 2023:3–4,9–10.
13. Khonado MF, Manalip H, Wallah SE. Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous dengan Variasi Ukuran Agregat. *J Sipil Statik*. 2019;3.
14. Pekerjaan Umum Rakyat. Mengenal Slump Beton. Banten: Dirjen Cipta Karya; 2023.
15. SNI 1972:2008. Cara Uji Slump Beton. Jakarta: Badan Standar Nasional; 2008.