

SIFAT MEKANIK BETON BERPORI DENGAN MATERIAL AGREGAT BUATAN DARI LIMBAH PLASTIK PET

MECHANICAL PROPERTIES OF POROUS CONCRETE WITH ARTIFICIAL AGGREGATE MATERIAL FROM PET PLASTIC WASTE

M. Zulham^{1*}, Liliana², Frieda³

¹Mahasiswa/ Program Studi Teknik Sipil/ Fakultas Teknik/ Universitas Palangka Raya

^{2,3}Dosen/ Program Studi Teknik Sipil/ Fakultas Teknik/ Universitas Palangka Raya

*Korespondensi: muh.zulham1999@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan plastik tanpa adanya tindakan daur ulang dari tangan manusia akan mengakibatkan menumpuknya limbah plastik yang merusak lingkungan. Menjadikan limbah plastik sebagai agregat buatan adalah salah satu cara untuk menanggulangnya. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental, yaitu dengan cara melakukan substitusi agregat alami dengan agregat buatan sebesar 58% pada beton berpori. Rasio agregat:semen yang digunakan yaitu 6:1 dan 7:1 dengan variasi FAS yang dipakai adalah 0,25 dan 0,30. Pengujian yang dilakukan ialah uji tekan, uji tarik, dan uji porositas. Dari hasil pengujian kuat tekan diperoleh kuat tekan terbesar 6,700 kg/cm² pada campuran yang digunakan yaitu 58% agregat buatan: 42% agregat alami, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,30. Pada uji kuat tarik diperoleh kuat tarik terbesar 0,802 kg/cm² pada campuran yang digunakan yaitu 58% agregat buatan: 42% agregat alami, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,30. Sedangkan pada uji porositas diperoleh porositas terbesar 5,04 pada campuran yang digunakan yaitu 58% agregat buatan: 42% agregat alami, rasio agregat:semen 7:1, dan FAS 0,25. Beton berpori dalam penelitian ini tidak memenuhi spesifikasi untuk badan jalan karena karena memiliki kuat tekan yang kecil dan kuat tarik yang kecil.

Kata Kunci: Agregat buatan, beton berpori, kuat tekan, kuat tarik, porositas.

ABSTRACT

The use of plastic without any recycling action from human hands will result in the accumulation of plastic waste that damages the environment. Making plastic waste as an artificial aggregate is one way to overcome it. This research was conducted using an experimental method, namely by substituting natural aggregate with artificial aggregate of 58% in porous concrete. Aggregate:cement ratio used is 6:1 and 7:1 with variations of FAS used are 0.25 and 0.30. The tests carried out are compressive tests, tensile tests, and porosity tests. From the results of the compressive strength test, the maximum compressive strength was 6.700 kg/cm² in the mixture used, namely 58% artificial aggregate: 42% natural aggregate, 6:1 aggregate:cement ratio, and 0.30 FAS. In the tensile strength test, the largest tensile strength was 0.802 kg/cm² in the mixture used, namely 58% artificial aggregate: 42% natural aggregate, 6:1 aggregate:cement ratio, and 0.30 FAS. While the porosity test obtained the largest porosity of 5.04 in the mixture used, namely 58% artificial aggregate: 42% natural aggregate, 7:1 aggregate:cement ratio, and 0.25 FAS. The porous concrete in this study did not meet the specifications for the road body because it had a small compressive strength and a small tensile strength.

Keywords: *Artificial aggregate, porous concrete, compressive strength, tensile strength, porosity*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jumlah penggunaan plastik untuk dikehidupan sehari-hari terus meningkat. Hal ini tidak dapat dihindari karena plastik hampir selalu ada disetiap barang. Plastik yang digunakan terus mengalami peningkatan mengakibatkan limbah plastik ikut meningkat.

Selain itu sifat plastik yang non-biodegradable (tidak bisa diuraikan oleh proses biologi) membutuhkan waktu sekitar 450 tahun untuk bisa terurai secara alami, Bongdard (2013). Dalam hal ini diperlukan campur tangan manusia untuk memanfaatkan limbah plastik tersebut. Pada penelitian ini limbah plastik jenis PET dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan agregat buatan.

Beton berpori adalah elemen bahan bangunan yang terbuat dari campuran agregat kasar, air, semen, dan dengan sedikit atau tanpa agregat halus. Campuran ini membuat pori yang terbuka pada struktur yang akan membiarkan air untuk menembus mendasari lahan yang menjadikan beton berpori ramah lingkungan, Arnoldus (2012).

Rumusan Masalah

Rumusan masalah ini sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat fisik dari agregat plastik yang dihasilkan limbah plastik PET?
2. Bagaimana kuat tekan dan tarik maksimum beton berpori yang menggunakan agregat kasar buatan dari bahan limbah plastik berjenis PET dengan melakukan variasi rasio semen terhadap agregat dan faktor air semen?
3. Bagaimana hasil uji porositas yang dihasilkan dari beton berpori yang dibuat dari agregat plastik?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah :

1. Mengetahui sifat agregat plastik yang dihasilkan dari limbah plastik PET
2. Mendapatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik pada beton berpori dengan agregat buatan dari limbah plastik.
3. Mengetahui hubungan porositas dengan kuat tekan dan tarik beton berpori.

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik

Plastik merupakan bahan organik yang mempunyai kemampuan untuk dibentuk, apabila terpapar panas dan tekanan. Plastik dapat dibentuk batangan, lembaran, atau blok, bila dalam bentuk produk dapat berupa botol, pembungkus makanan, pipa, peralatan makanan, dan lain-lain. Komposisi dan material plastik adalah polymer dan zat additive lainnya. Polymer tersusun dari monomer-monomer yang terikat oleh rantai ikatan kimia (Purwaningrum, 2016).

PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan resin polyster yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas. Kepekatannya adalah sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc, ini membuatnya kokoh. PET dalam bentuk produk berupa botol air, botol soda, botol jus, botol minyak goreng, tempat pindakas, dan kemasan makan. PET dapat berupa berwarna atau tidak berwarna (transparan) (Widiyatmoko, 2016).

Limbah plastik pada umumnya merupakan suatu bahan terbuang yang sudah tidak memiliki nilai ekonomis dari aktivitas manusia. Limbah plastik yang dibiarkan begitu saja dapat merusak lingkungan dan membuatnya tercemar. Dari potensi menimbulkan penyakit, hingga potensi mengakibatkan banjir, serta lingkungan jadi tidak enak dipandang. Selain itu limbah plastik membutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai dan tidak bisa diuraikan secara biologi seperti sampah organik lainnya. Untuk menanggulangi limbah plastik diperlukan campur tangan langsung dari manusia. Baik itu dengan cara daur ulang atau memanfaatkan limbah plastik tadi sebagai produk baru yang memiliki nilai ekonomis.

Beton Berpori

Seperti halnya beton konvensional, bahan utama penyusun beton berpori adalah agregat kasar, semen pertland, dan air. Yang membedakannya adalah beton berpori hanya menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus, faktor inilah yang mengakibatkan beton memiliki pori, Daryanto (2013). Karena sedikitnya agregat halus atau bahkan tanpa adanya agregat halus pada beton berpori mengakibatkan kuat tekan dan kuat tariknya berkurang dan lebih rendah dari beton konvensional. Akan tetapi nilai porositasnya meningkat. Beton berpori merupakan konstruksi jalan yang unik dan

ramah terhadap lingkungan. Ramah lingkungan dikarenakan beton berpori membiarkan air hujan meresap ke tanah dan mengurangi limpasan permukaan.

FAS (Faktor Air Semen)

Dalam menentukan jumlah air dalam suatu campuran beton dikenal suatu nilai yang disebut nilai Faktor Air Semen (FAS). Faktor air semen atau water to cementious ratio, adalah rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen pada campuran beton (Rosie, 2015).

Kuat Tekan

Nilai kuat beton didapatkan melalui pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan pada benda uji silinder beton. Kuat tekan dapat meningkat dan menurun jika terdapat faktor yang mempengaruhi, antara lain faktor pengerjaan, kepadatan, faktor air semen, dan kualitas bahan-bahan yang digunakan.

Berdasarkan SNI 03-6805-2002 dan ASTM C 39/C 39M-04a

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

- f_c' = Kuat tekan (kg/cm²)
- P = Gaya tekan aksial (kg)
- A = Luas bidang tekan (cm²)

Kuat Tarik

Kuat tarik adalah ukuran kuat beton yang diakibatkan oleh suatu gaya yang cenderung untuk memisahkan sebagian beton akibat tarikan. Kuat tarik beton berkisar seper-delapan belas kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar seperduapuluh sesudahnya.

Kuat tarik juga merupakan bagian penting dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Pengujian kuat tarik biasanya diadakan untuk pembuatan konstruksi jalan raya dan lapangan terbang (L. J. Murdock dan K. M. Brook, 1991).

Kuat tarik beton dihitung dengan rumus berikut:

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

Kesimpulan:

- f_t = Kuat tarik belah (kg/cm²)
- P = Beban pada waktu belah (kg)
- L = Panjang beban uji (cm)
- D = Diameter benda uji (cm)

Porositas

Porositas beton merupakan tingkatan yang menggambarkan kepadatan konstruksi beton. Porositas merupakan perbandingan antara ruang kosong dari suatu batuan dengan volume batuan itu sendiri (Widhiarto & Sujatmiko, 2012).

Berdasarkan ASTM C 642-90, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{C - A}{C - D} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

- n = Porositas benda uji (%)
- A = Berat kering oven benda uji (kg)
- C = Berat beton jenuh air setelah pendidihan (kg)
- D = Berat beton dalam air (kg)

METODE

Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode eksperimental. Limbah plastik berjenis PET dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan agregat buatan yang nantinya akan disubtitusikan sebesar 58% pada beton berpori. Campuran pada beton berpori berupa 58% agregat kasar buatan dari limbah plastik PET dan 42% agregat kasar alami. Dengan rasio agregat:semen adalah 6:1 dan 7:1. Serta FAS yang digunakan adalah 0,25 dan 0,30. Setiap campuran akan dibuat masing-masing 3 benda uji yang nantinya akan digunakan untuk uji kuat tekan, uji kuat tarik, dan uji porositas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Bahan Dasar

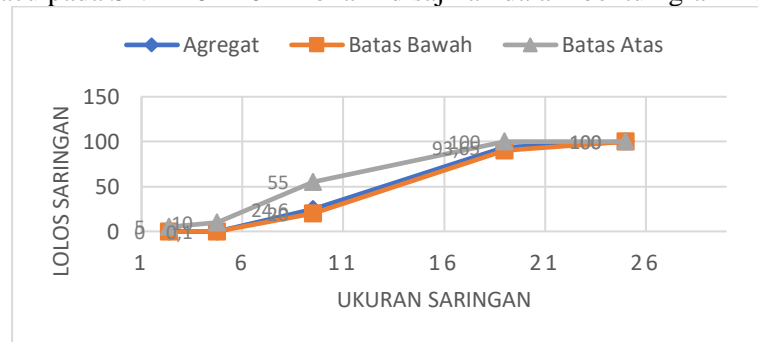
Bahan dasar yang di uji adalah agregat kasar alami dan agregat buatan dari limbah plastik.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar Alami

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kadar lumpur	2,8%	maks 1%	memenuhi syarat
Kadar air	2,4%		
Berat volume			
-keadaan padat	1,433 kg/L	0,4-1,9 kg/L	memenuhi syarat
-keadaan goyang	1,401 kg/L		
-keadaan lepas	1,370 kg/L		
Berat jenis			
-bj curah	2,55	2,5-2,7	memenuhi syarat
-bj kering permukaan	2,53		
-bj semu	2,54		
Penyerapan	0,02%	maks 3%	memenuhi syarat
Abrasi	36,66%	maks 40%	memenuhi syarat

Sumber: Hasil Perhitungan (2021)

Untuk uji abrasi mengacu pada SNI 2461-2014 zona II disajikan dalam bentuk grafik berikut



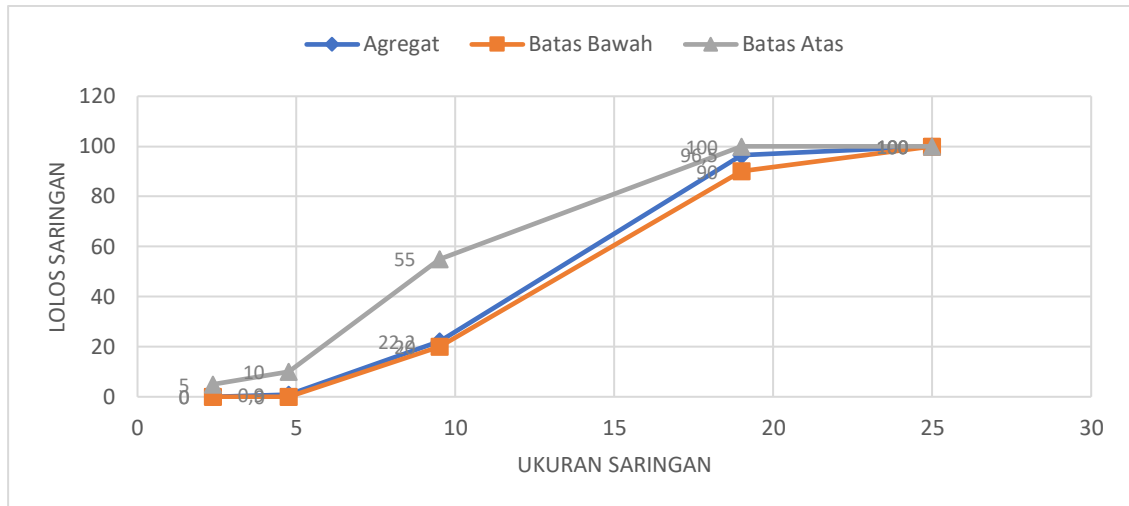
Gambar 1. Grafik Analisa Gradasi Saringan Agregat Alami

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar Buatan

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kadar lumpur	-	maks 1%	-
Kadar air	1,2 %		
Berat volume			
-keadaan padat	0,6194 kg/L	0,4-1,9 kg/L	memenuhi syarat
-keadaan goyang	0,5986 kg/L		
-keadaan lepas	0,5656 kg/L		
Berat jenis			
-bj curah	1,33	min 2,5-2,7	tidak memenuhi syarat
-bj kering permukaan	1,31		
-bj semu	1,32		
Penyerapan	1,42 %	maks 3%	memenuhi syarat
Abrasi	36,68%	maks 40%	memenuhi syarat

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian (2021)

Untuk uji abrasi mengacu pada SNI 2461-2014 zona II disajikan dalam bentuk grafik berikut



Gambar 2. Grafik Analisa Gradasi Saringan Agregat Buatan

Perencanaan Campuran

Campuran beton berpori yang dipakai pada penelitian ini adalah

- Agregat buatan 58%, agregat alami 42%, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,25
- Agregat buatan 58%, agregat alami 42%, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,30
- Agregat buatan 58%, agregat alami 42%, rasio agregat:semen 7:1, dan FAS 0,25
- Agregat buatan 58%, agregat alami 42%, rasio agregat:semen 7:1, dan FAS 0,30

Contoh kebutuhan bahan per 1 m³ untuk Agregat buatan 58%, agregat alami 42%, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,25

Agregat buatan = 358,72 kg
 Agregat alami = 249,28 kg
 Semen = 110,65 kg
 Air = 27,66 liter

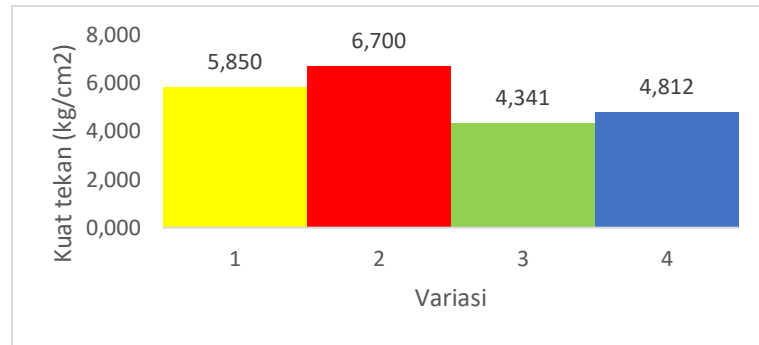
Analisis Data Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan

Uji tekan ini dilakukan saat beton berpori berumur 28 hari di laboratorium. Tiap campuran berjumlah 3 buah sampel untuk dilakukan pengujian

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Rasio Agregat/Semen	Agregat Alami %	Agregat Buatan %	FAS	Beban Maksimum (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Rata-rata
6:1	42	58	0,25	1100	6,228	5,850
				1000	5,662	
				1200	6,794	
6:1	42	58	0,30	1150	6,511	6,700
				1200	6,794	
				850	4,812	
7:1	42	58	0,25	750	4,246	4,341
				700	3,963	
				850	4,812	
7:1	42	58	0,30	850	4,812	4,812
				850	4,812	

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian (2021)

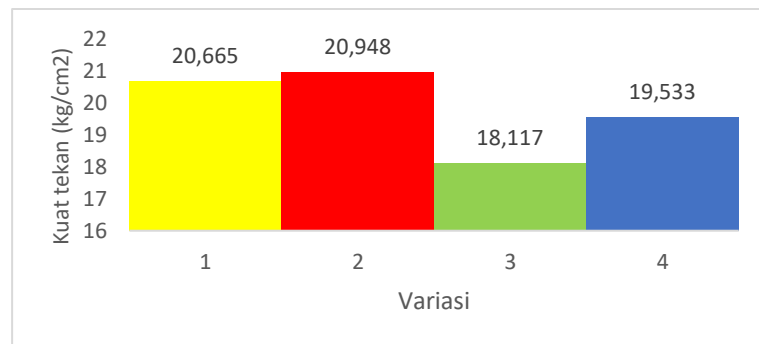


Gambar 3. Perbandingan Uji Kuat Tekan Pada Tiap Campuran Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Berpori Normal

Rasio Agregat/Semen	FAS	Beban Maksimum Kg	Kuat Tekan Kg/cm ²
6:1	0,25	3650	20,665
	0,30	3700	20,948
7:1	0,25	3200	18,117
	0,30	3450	19,533

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian (2021)



Gambar 4. Perbandingan Uji Kuat Tekan Pada Tiap Campuran Beton Berpori Normal

Pada ke dua pengujian kuat tekan beton berpori dengan agregat buatan dari limbah plastik dan tanpa agregat plastik dapat dilihat kuat tekan terbesar berada pada campuran rasio agregat semen 6:1 dan fas 0,30. Tetapi pada hasil uji kuat tekan beton berpori dapat dilihat bahwa beton berpori dengan campuran agregat buatan dari limbah plastik jika dibandingkan dengan beton berpori tanpa agregat plastik. Penambahan agregat buatan dari limbah

plastik menurunkan nilai kuat tekan pada beton berpori.

Uji Kuat Tarik

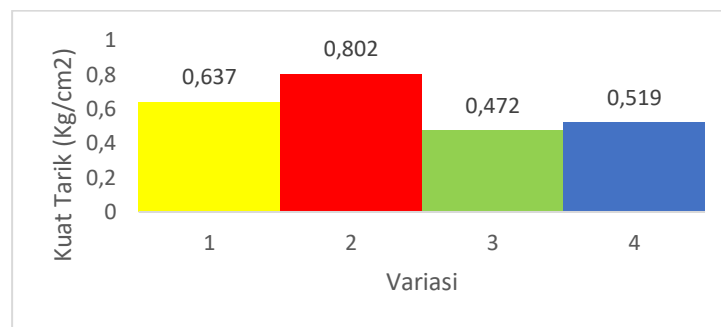
Uji kuat tarik ini dilakukan saat beton berpori berumur 28 hari di laboratorium. Tiap campuran berjumlah 3 buah sampel untuk dilakukan pengujian.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tarik Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Rasio Agregat/Semen	Agregat Alami %	Agregat Buatan %	FAS	Beban Maksimum	Kuat Tarik kg/cm ²	Rata-rata
6:1	42	58	0,25	450	0,637	0,637
				450	0,637	
				450	0,637	
6:1	42	58	0,3	500	0,708	0,802

Rasio Agregat/Semen	Agregat Alami %	Agregat Buatan %	FAS	Beban Maksimum	Kuat Tarik kg/cm ²	Rata-rata
7:1	42	58	0,25	600	0,849	0,472
				600	0,849	
				350	0,495	
				300	0,425	
				350	0,495	
7:1	42	58	0,3	400	0,566	
				350	0,495	
				350	0,495	

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian (2021)

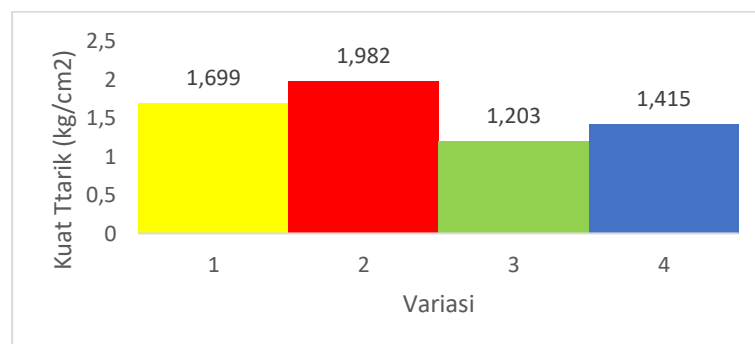


Gambar 5. Perbandingan Uji Kuat Tarik Pada Tiap Campuran Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tarik Beton Berpori Normal

Rasio Agregat/Semen	FAS	Beban Maksimum Kg	Kuat Tekan Kg/cm ²
6:1	0,25	1200	1,699
	0,30	1400	1,982
7:1	0,25	850	1,203
	0,30	1000	1,415

Sumber: Hasil Perhitungan Penelitian (2021)



Gambar 6. Perbandingan Uji Kuat Tarik Pada Tiap Campuran Beton Berpori Normal

Pada ke dua pengujian kuat tarik beton berpori dengan agregat buatan dari limbah plastik dan tanpa agregat plastik dapat dilihat kuat tekan terbesar berada pada campuran rasio agregat semen 6:1 dan fas 0,30. Tetapi pada hasil uji kuat tarik beton

berpori dapat dilihat bahwa beton berpori dengan campuran agregat buatan dari limbah plastik jika dibandingkan dengan beton berpori tanpa agregat plastik. Hal ini sama seperti pada oengujian kuat tekan. Penambahan agregat buatan dari limbah

plastik menurunkan nilai kuat tarik pada beton berpori.

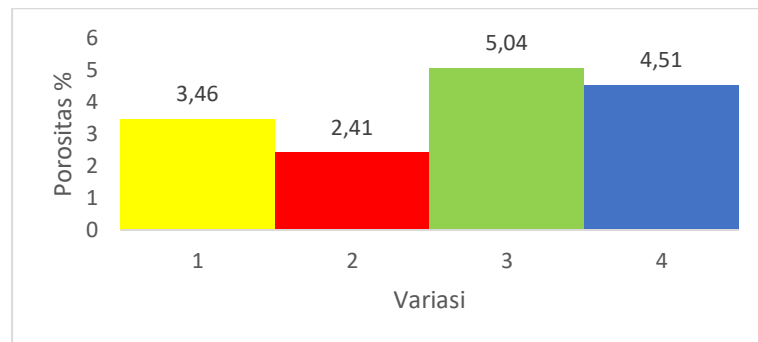
Uji Porositas

Porositas adalah ukuran dari proporsi total volume yang ditempati oleh pori-pori dan biasanya dinyatakan dalam persentase dari volume sampel. Uji porositas ini diuji setelah beton berumur 28 hari tiap sampel berjumlah 3 sampel.

Tabel 7. Hasil Uji Porositas Pada Tiap Campuran Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Rasio Agregat/Semen	Agregat Alami %	Agregat Buatan %	FAS	Berat Benda Uji Kering Oven	Berat Benda Uji Kondisi SSD	Berat Benda Uji Dalam Air	Porositas	Rata-rata
6:1	42	58	0,25	1976	1998	1363	3,46	3,36
				1968	1988	1353	3,15	
				1970	1992	1357	3,46	
6:1	42	58	0,3	2089	2103	1468	2,20	2,41
				2074	2091	1456	2,68	
				2095	2110	1475	2,36	
7:1	42	58	0,25	2038	2067	1432	4,57	5,04
				2059	2093	1458	5,35	
				2053	2086	1451	5,20	
7:1	42	58	0,3	2267	2298	1663	4,88	4,51
				2299	2326	1691	4,25	
				2286	2314	1679	4,41	

Sumber: Hasil Perhitungan (2021)

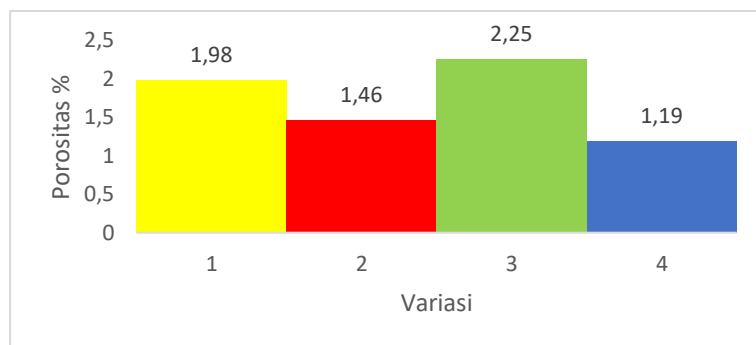


Gambar 5. Perbandingan Porositas Pada Tiap Campuran Beton Berpori dengan Agregat Buatan

Tabel 8. Hasil Uji Porositas Pada Beton Berpori Normal

Rasio Agregat/Semen	FAS	Berat Benda Uji Kering Oven	Berat Benda Uji Kondisi SSD	Berat Benda Uji Dalam Air	Porositas
6:1	0,25	2811	2826	2070	1,98
	0,30	2768	2779	2023	1,46
7:1	0,25	3011	3028	2272	2,25
	0,30	3027	3036	2280	1,19

Sumber: Hasil Perhitungan (2021)



Gambar 8. Perbandingan Porositas Pada Tiap Campuran Beto Berpori Normal

Pada kedua pengujian porositas dapat dilihat porositas terbesar ada pada campuran dengan rasio agregat semen 7:1 dan fas 0,25. Pada porositas beton berpori dengan agregat buatan dari limbah plastik nilai porositasnya lebih besar jika dibandingkan beton berpori tanpa agregat buatan dari limbah plastik. Penambahan agregat buatan dari limbah plastik meningkatkan nilai porositas dari beton berpori. Hal ini berbanding terbalik dengan kuat tekan dan tarik beton yang mengalami penurunan saat agregat buatan dari limbah plastik digunakan.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Kuat tekan dan kuat tarik beton berpori dengan campuran agregat buatan dari plastik PET mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton berpori normal. Sedangkan nilai porositas mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan beton berpori dengan agregat normal.
2. Untuk nilai kuat tekan tertinggi adalah 6,794 kg/cm² untuk beton berpori dengan campuran agregat buatan dari plastik PET. Campuran beton berpori terdiri dari 42% agregat alami, 58% agregat buatan, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,30.
3. Untuk nilai kuat tarik tertinggi adalah 0,849 kg/cm² untuk beton berpori dengan campuran agregat buatan dari plastik PET. Campuran beton berpori terdiri dari 42% agregat alami, 58% agregat buatan, rasio agregat:semen 6:1, dan FAS 0,30.
4. Untuk nilai kuat tarik tertinggi adalah 5,35% untuk beton berpori dengan campuran agregat buatan dari plastik PET. Campuran beton berpori terdiri dari 42% agregat alami, 58% agregat buatan, rasio agregat:semen 7:1, dan FAS 0,25.

5. Beton berpori dengan campuran agregat buatan ini tidak memenuhi standar untuk penggunaan sebagai perkerasan jalan normal. Dimana menurut SNI 03-069-1996 kuat tekan minimal yang harus dimiliki adalah 8,5 MPa dan kuat tarik minimal adalah 3,78 MPa. Sedangkan pada penelitian ini nilai kuat tekan tertinggi sebesar 6,794 kg/cm² (0,06794 MPa) dan nilai tarik tertinggi 0,849 kg/cm² (0,00894 MPa).

Saran

1. Untuk membuat agregat dari limbah plastik terutama yang berjenis PET diperlukan perlakuan khusus. Hal ini agar plastik tidak mengalami dekomposisi saat diubah menjadi agregat.
2. Hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya adalah suhu saat memasak plastik, lama waktu, jenis logam dari media untuk memasak plastik, dan usahakan saat memasak plastik tidak terjadi sirkulasi udara di media masak agar agregat buatan menjadi padat dan tidak berpori.
3. Untuk penggunaan dapat diaplikasikan untuk jalan taman dan trotoar.

DAFTAR PUSTAKA

- Bongdart, D. 2013, *Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation*. Genova : Maritime Policy & Management.
- Murdock, L.J. dan Brook, K.M., 1991, *Bahan dan Praktek Beton, Edisi Keempat, Terjemahan oleh Stephanus Hindarko*, Jakarta : Erlangga.
- Arnoldus, F.F. 2012. *Studi Analisa Pengaruh Dimensi Agregat Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Tingkat Porositas Air Untuk Beton Berpori Dengan Bahan*

- Tambahan Fly Ash Pada Aplikasi Sidewalk.* Jakarta : Binus University.
- Rosie, Arizki Intan Sari., E. Wallah, Steenie., S. Windahm Reky. 2015. Pengaruh Jumlah Semen dan FAS Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Agregat yang Berasal dari Sungai. *Jurnal Sipil Statik.* **03**(01). hal 68 – 76.
- Ari Prabowo, Daryanto., Setyawan, Ary., dan Adi Sambowo, Kusno. 2013. Desain Beton Berpori Untuk Perkerasan Jalan yang Ramah Lingkungan. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil.* **06**(01), hal 96 – 102.
- Widiyatmoko, H., Purwaningrum, Pramiati., dan Putri Arum P, Febrina. 2016. Analisis Karakter Sampah Plastik di Permukiman Kecamatan Tebet dan Alternatif Pengolahannya. *Jurnal Teknik Lingkungan FALT Universitas Trisakti.* **07**(01), hal 24 – 33.
- Widhiarto, H., dan Sujatmiko, B. 2012. Analisis Campuran Beton Berpori dengan Agregat Bergradasi Terpisah Ditinjau Terhadap Mutu dan Biaya. *Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya.* **05**(02), hal 24 – 30