

# Beton Berpori Berkekuatan Struktur Dengan Menggunakan Limbah *Fly Ash* dan Limbah *Dolochar*

Agung Sumarno<sup>1\*</sup>, Agus Mudo Prasetyo<sup>1</sup>, Maidina<sup>1</sup>, Dany Perwita Sari<sup>1</sup>, Luna Nurdianti Ngeljaratan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Teknologi Kekuatan Struktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, INDONESIA

\*Corresponding author: agun025@brin.go.id

## INTISARI

Beton pori memiliki kemampuan infiltrasi air yang baik, namun kuat tekan beton pori cenderung rendah bila dibandingkan dengan beton konvensional. Perlu upaya untuk meningkatkan kuat tekan beton pori sehingga mampu berkekuatan struktur. Pada penelitian ini yang dilakukan secara eksperimental mencoba membuat beton pori dengan menggunakan *fly ash* (FA) sebagai pengganti sebagian semen dan limbah *dolochar* sebagai pengganti agregat halus pasir. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui densitas, koefisien permeabilitas, kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton pori dengan membuat sampel dibuat berukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sebanyak 12 variasi. Hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa penggunaan FA dapat meningkatkan densitas, kuat tekan, dan kuat tarik beton pori. Akan tetapi penggunaan FA dapat mengurangi nilai koefisien permeabilitas, namun masih tergolong beton pori karena berkisar antara 1,4-12,2 mm/s. Penggunaan limbah *dolochar* tidak disarankan sebagai pengganti agregat halus pasir karena menghasilkan nilai kuat tekan yang rendah bila dibandingkan beton pori dengan agregat halus pasir. Beton pori terbaik pada penelitian ini adalah variasi BP4 dengan nilai densitas nilai densitas 2202,88 kg/m<sup>3</sup>, nilai koefisien permeabilitas 11,34 mm/s, kuat tekan 30,78 MPa dan kuat tarik belah 0,68 MPa.

Kata kunci: beton pori, *fly ash*, limbah *dolochar*

## 1 PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang semakin pesat merupakan upaya pemerintah dalam pemerataan pembangunan di seluruh wilayah negara Indonesia. Infrastruktur yang dibangun meliputi jalan, jembatan, gedung, bendungan, pelabuhan dan sebagainya, yang memerlukan pembangunan yang cepat, kuat, dan memiliki durabilitas yang baik. Pemilihan material yang tepat dalam pembangunan infrastruktur merupakan salah satu kunci dalam sukses dibangunnya sebuah bangunan infrastruktur. Beton merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur, hal ini dikarenakan beton memiliki keunggulan yaitu mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi dan memiliki kekuatan serta durabilitas yang baik (Darwin et al, 2016). Selain itu, untuk mempercepat waktu pengerjaan konstruksi dan efisiensi biaya pekerjaan, material beton juga dipilih karena dapat dibuat secara pracetak di pabrik dan kemudian dilakukan instalasi di proyek (Muria Villa et al, 2012).

Selain memiliki beberapa keunggulan, beton juga memiliki beberapa kelemahan antara lain penggunaan material penyusun beton yang menggunakan material yang berasal dari alam seperti semen, pasir dan batu pecah yang kondisinya semakin menipis karena penambangan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku penyusun beton (Sumarno et al, 2022). Selain itu proses produksi dalam pembuatan semen menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang setara dengan produksi semen yang dihasilkan sehingga menimbulkan pemanasan global (Mohamad et al, 2022). Upaya untuk mengatasi menipisnya material alam dan pemanasan global dalam proses produksi semen salah satunya adalah dengan memanfaatkan material limbah industri mineral dan batu bara (MINERBA) yang memiliki sifat sementitis dan pozolanik (Katara & Madurwar, 2020). Beberapa limbah industri MINERBA yang dapat digunakan sebagai material pengganti sebagian semen antara lain seperti FA, *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS), metakaolin dan sebagainya (Lahri & Dixit, 2015). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan FA dapat meningkatkan kuat tekan beton (Nayak et al, 2022), hal ini yang menunjukkan potensi penggunaan FA yang sangat besar dalam upaya peningkatan kekuatan beton. Menipisnya material alam juga terjadi pada sumber agregat halus sebagai bahan penyusun beton, sehingga diperlukan alternatif pengganti agregat halus seperti limbah beton (Ramadevi & Chitra, 2017), abu batu (Triaswati et al, 2019), *bottom ash* (Hamada et al, 2022), limbah *spent bleaching earth* (SBE) (Prasetyo & Sumarno, 2022), dan juga limbah *dolochar* (Sahoo et al, 2014).

Kekurangan lainnya dalam penggunaan material beton adalah kurangnya kemampuan beton dalam meloloskan air khususnya apabila beton digunakan sebagai material *pavement*. Kekurangan tersebut mengakibatkan genangan air di saat intensitas hujan yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut beberapa penelitian dilakukan dengan cara membuat beton menjadi berpori atau yang dikenal sebagai beton pori. Beton berpori dinilai sangat baik digunakan pada

konstruksi *pavement* karena memiliki kemampuan filtrasi air yang baik, namun dengan membuat beton memiliki pori akan menurunkan sifat mekanis beton. Penelitian terdahulu menunjukkan kekuatan tekan beton berpori belum mampu mencapai kekuatan tekan yang dipersyaratkan sebagai beton berkekuatan struktur (Ginting, 2015., Khonado et al, 2019., Anggraini et al, 2022). Sehingga diperlukan upaya penelitian untuk membuat beton berpori yang berkekuatan struktur diatas 17 MPa sebagaimana yang dipersyaratkan dalam SNI 2847-2019. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini dilakukan, yaitu dengan membuat beton berpori dengan menggunakan FA sebagai pengganti sebagian semen sebagai upaya peningkatan kekuatan dari beton berpori dan juga menggunakan limbah *dolochar* sebagai upaya menggantikan pasir alam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik belah, densitas dan koefisien permeabilitas dari beton pori yang menggunakan FA dan limbah *dolochar*. Harapan dari penelitian ini adalah mendapatkan beton berpori berkekuatan struktur yang ramah lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai material dalam pembangunan *green* infrastruktur di Indonesia

## 2 METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Sampel dibuat di PT. Zircon Inti Persada yang berlokasi Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan, kemudian diuji di Laboratorium Pusat Riset Kekuatan Struktur-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) untuk memperoleh kuat tekan, kuat tarik belah, densitas dan koefisien permeabilitas.

### 2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen, FA, agregat kasar berupa batu pecah, agregat halus berupa pasir, limbah *dolochar*, air dan *superplastisizer*. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah *portland composite cement* (PCC) tipe I komersial yang banyak dijual di market bahan bangunan. FA yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sisa pembakaran batu bara pada PLTU Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Pemeriksaan komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat *Xray- Fluorescence* (XRF) pada semen untuk memenuhi persyaratan SNI 2049-2015 dan pada FA untuk memenuhi persyaratan SNI 2460-2014. Hasil pengujian komposisi kimia semen dan FA disajikan pada Table 1.

Tabel 1. Komposisi kimia semen dan FA

Komposisi Kimia	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	ZnO (%)
PCC	7,72	23,19	3,77	2,59	1,16	57,36	0,29	0,07	2,75	0,03
FA	11,36	28,85	39,05	0,62	0,59	11,32	1,05	0,67	5,18	0,08
Persyaratan semen (SNI 2049-2015)				Maks. 4%					Maks. 6%	

Tabel 2. Klasifikasi *fly ash* (FA)

Persyaratan klasifikasi FA (SNI 2460-2014)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) + SiO <sub>2</sub> (%) + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Klasifikasi	Sifat
FA	79,26	11,32	Kelas C	Sementitus & Pozzolanik
Kelas F	Min 70%	-		
Kelas C	Min 50 %	Min 10%		

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia yang disajikan pada Table 1, menunjukkan bahwa semen dan FA yang digunakan pada penelitian ini memenuhi persyaratan yang ditetapkan karena memiliki kandungan SO<sub>3</sub> dibawah 4% yaitu sebesar 2,59 % dan 0,62% , serta memiliki kandungan MgO dibawah 6% yaitu sebesar 2,75% dan 5,18%. FA yang digunakan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen karena memenuhi persyaratan semen dan juga memiliki sifat sementitus dan pozzolanik yang terklasifikasi dalam kelas C seperti pada Tabel 2.

Agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari penambangan alam , serta limbah *dolochar* berasal dari limbah pengolahan smelter bijih besi PT. Delta Prima Steel. Semua berlokasi di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kadar air (SNI 1971-2011), pengujian gradasi agregat (SNI 1968-1990), pengujian kadar

lumpur agregat (SNI 03-4142-1996), pengujian berat jenis dan penyerapan agregat (SNI 1970-2008), pengujian berat volume agregat (SNI 03-4804-1998), serta keausan agregat kasar (SNI 2417-2008). Hasil pengujian agregat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat

Nama material	Kadar air (%)	Kadar lumpur (%)	Berat jenis kondisi SSD	Penyerapan (%)	Berat volume (g/cm <sup>3</sup> )	Keausan (%)	Modulus Halus Butir
Batu pecah	2,50	0,25	2,38	0,50	1,34	15,64	-
Pasir	6,20	2,40	2,60	1,63	1,47	-	2,04
Limbah <i>Dolochar</i> (uk. < 5 mm)	6,40	2,30	1,28	49,25	0,59	-	2,34
Persyaratan	-	<5%	-	<5%	-	<40%	-

Berdasarkan hasil pengujian agregat yang disajikan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa agregat kasar batu pecah dan agregat halus pasir yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan yaitu kadar lumpur dan penyerapan yang memiliki nilai lebih kecil dari 5% yaitu 0,25% dan 2,4% untuk kadar lumpur serta 0,5% dan 1,63% untuk penyerapan. Sedangkan limbah *dolochar* memiliki nilai penyerapan yang sangat tinggi yaitu 49,25%, sehingga pada penelitian ini dilakukan penyesuaian terhadap limbah *dolochar* dengan cara mengkondisikan pada kondisi SSD sebelum digunakan sebagai agregat halus.

## 2.2 Metode

Pembuatan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *mixer* beton dengan kapasitas 500 Liter. Sampel dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Proses pembuatan sampel beton hingga perawatan beton mengacu pada SNI 2493-2011. Variasi sampel yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 12 variasi seperti yang disajikan pada Tabel 4. Sebagai kontrol beton pori dibuat dalam 2 variasi yaitu BP 1 dengan penggunaan agregat halus sebanyak 25% dari total berat agregat dan BP 2 dengan penggunaan agregat halus sebanyak 35% dari total berat agregat.

Tabel 4. Variasi sampel penelitian dengan komposisi tiap m<sup>3</sup>

Variasi	Semen (kg)	FA (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)	Limbah <i>Dolochar</i> (kg)	Superplastisizer 1% (kg)
BP 1	490	0	147	422	1266	0	4.9
BP 2	490	0	147	591	1097	0	4.9
BP 3	367.5	122.5	147	422	1266	0	4.9
BP 4	367.5	122.5	147	591	1097	0	4.9
BP 5	318.5	171.5	147	422	1266	0	4.9
BP 6	318.5	171.5	147	591	1097	0	4.9
BP 7	490	0	147	0	1266	422	4.9
BP 8	490	0	147	0	1097	591	4.9
BP 9	367.5	122.5	147	0	1266	422	4.9
BP 10	367.5	122.5	147	0	1097	591	4.9
BP 11	318.5	171.5	147	0	1266	422	4.9
BP 12	318.5	171.5	147	0	1097	591	4.9

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian densitas beton (SNI 1973-2016), pengujian koefisien permeabilitas (ACI 522-2010), pengujian kuat tekan (SNI 1974-2011) dan pengujian kuat tarik belah beton (SNI 2491-2002). Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari serta pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton menggunakan alat *universal testing machine* (UTM) dengan kapasitas 1000kN.

Pengujian densitas dilakukan dengan cara mengukur berat beton kemudian dibagi dengan volume beton. penentuan densitas dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$$T = \frac{M}{V} \quad (1)$$

dimana  $T$  adalah densitas beton ( $\text{kg/m}^3$ ),  $M$  adalah berat sampel beton ( $\text{kg}$ ),  $V$  adalah volume sampel beton ( $\text{m}^3$ )

Pengujian koefisien permeabilitas dilakukan dengan mengukur kecepatan aliran air yang keluar pada pipa uji dengan membagi antara tinggi air dengan waktu yang diperlukan air untuk tumpah. Penentuan koefisien permeabilitas dihitung berdasarkan Persamaan 2.

$$k = \frac{A}{t} \tag{2}$$

dimana  $k$  adalah koefisien permeabilitas ( $\text{mm/s}$ ),  $A$  adalah tinggi air yang tumpah ( $h_{\text{awal}}-h_{\text{akhir}}$ ) ( $\text{mm}$ ),  $t$  adalah waktu ( $\text{s}$ )

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menekan sampel pada arah sejajar sumbu penampang sampel menggunakan UTM dengan kecepatan pembebanan sebesar  $0,15 \text{ MPa/detik}$  sehingga diperoleh gaya maksimum yang mampu diterima sampel kemudian dibagi dengan luas penampang sampel untuk menentukan kuat tekan. penentuan kuat tekan dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{3}$$

dimana  $\sigma$  adalah kuat tekan beton ( $\text{MPa}$ ),  $P$  adalah gaya maksimum sampel ( $\text{N}$ ),  $A$  adalah luas permukaan sampel ( $\text{mm}^2$ )

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menekan sampel beton pada arah tegak lurus sumbu penampang sampel menggunakan UTM dengan kecepatan pembebanan sebesar  $0,7 \text{ MPa/menit}$  sehingga diperoleh gaya yang mampu diterima sampel beton hingga terbelah. Penentuan kuat tarik belah beton dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$F_{ct} = \frac{2P}{LD} \tag{4}$$

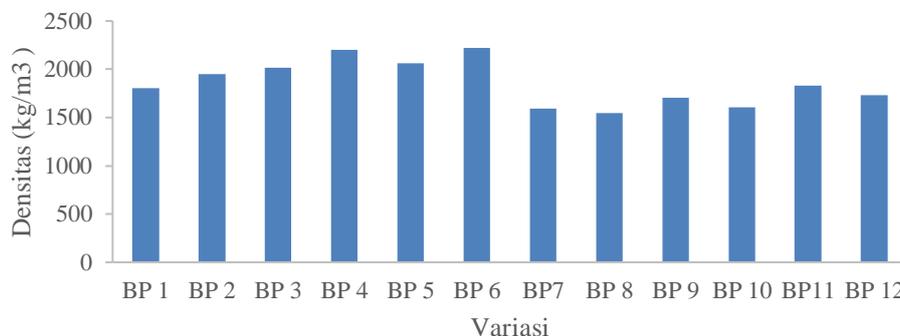
dimana  $F_{ct}$  adalah kuat tarik belah beton,  $P$  adalah beban uji sampel ( $\text{N}$ ),  $L$  adalah panjang benda uji ( $\text{mm}$ ),  $D$  adalah diameter benda uji ( $\text{mm}$ )

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini, variasi variabel penelitian memberikan pengaruh terhadap densitas, koefisien permeabilitas, kuat tekan dan kuat tarik beton berpori.

#### 3.1 Pengaruh FA dan limbah *dolochar* terhadap densitas beton pori

Pengukuran terhadap densitas beton pori dilakukan untuk mengetahui berat beton pada tiap volume. Densitas beton pori yang diperoleh pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



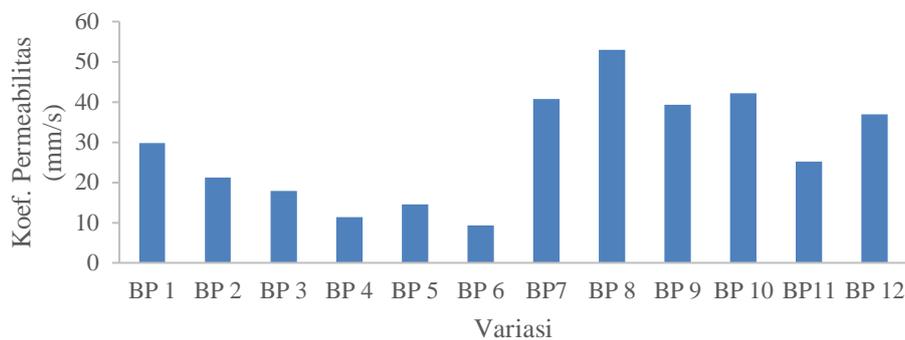
Gambar 1. Densitas beton pori

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa penggunaan agregat halus memberikan pengaruh terhadap peningkatan densitas beton pori yang ditunjukkan pada variasi BP2 dengan nilai  $1948,92 \text{ kg/m}^3$  yang lebih tinggi dari BP1 dengan nilai  $1802,67 \text{ kg/m}^3$ . Penggunaan FA sebagai pengganti sebagian semen juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan densitas beton pori yang menggunakan jumlah agregat halus yang sama,

hal ini ditunjukkan pada variasi BP3 dan BP5 dengan nilai 2014,68 kg/m<sup>3</sup> dan 2060,03 kg/m<sup>3</sup> serta BP4 dan BP6 dengan nilai 2202,88 kg/m<sup>3</sup> dan 2217,62 kg/m<sup>3</sup>. Penggunaan limbah *dolochar* sebagai agregat halus pada beton pori memberikan pengaruh terhadap penurunan nilai densitas beton pori hal ini ditunjukkan pada variasi BP8 dengan nilai 1544,17 kg/m<sup>3</sup> yang lebih rendah dari BP7 dengan nilai 1595,19 kg/m<sup>3</sup>. Penggunaan FA pada beton pori dengan menggunakan agregat halus limbah *dolochar* memberikan pengaruh terhadap peningkatan densitas beton pori, hal ini ditunjukkan pada variasi BP9 dan BP11 dengan nilai 1707,43 kg/m<sup>3</sup> dan 1827,61 kg/m<sup>3</sup> serta variasi BP10 dan BP12 dengan nilai 1607,66 kg/m<sup>3</sup> dan 1733,51 kg/m<sup>3</sup>. Nilai densitas tertinggi diberikan oleh variasi BP6 yaitu 2217,62 kg/m<sup>3</sup> dan nilai densitas terendah dihasilkan oleh variasi BP8 yaitu 1544,17 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Pengaruh FA dan limbah *dolochar* terhadap koefisien permeabilitas beton pori

Koefisien permeabilitas beton pori merupakan parameter penting dalam penentuan kemampuan infiltrasi air kedalam tanah. Menurut ACI 522-2010, pada umumnya beton pori memiliki nilai koefisien permeabilitas antara 1,4 mm/s hingga diatas 12,2 mm/s. Hasil pengukuran koefisien permeabilitas yang dihasilkan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

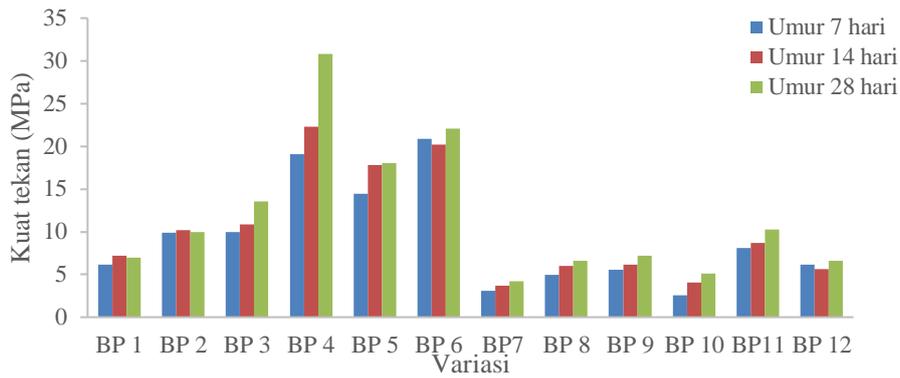


Gambar 2. Koefisien permeabilitas beton pori

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Gambar 2, koefisien permeabilitas dipengaruhi oleh penggunaan FA sebagai pengganti sebagian semen baik pada beton pori yang menggunakan agregat halus pasir maupun beton pori yang menggunakan agregat halus limbah *dolochar*. Pada variasi dengan jumlah penggunaan agregat halus yang sama, hasil menunjukkan semakin banyak FA yang digunakan maka koefisien permeabilitas akan menurun dilihat dari variasi BP1, BP3 dan BP5 dengan nilai 29,74 mm/s , 17,81 mm/s dan 14,51 mm/s , serta variasi BP2, BP4 dan BP6 dengan nilai 21,21 mm/s, 11,34 mm/s, dan 9,32 mm/s. Penggunaan FA juga menurunkan koefisien permeabilitas beton pori yang menggunakan agregat halus limbah *dolochar* yang dapat dilihat pada variasi BP7, BP9, dan BP11 dengan nilai 40,73 mm/s, 39,24 mm/s dan 25,21 mm/s serta variasi BP8, BP10 dan BP12 dengan nilai 52,97 mm/s, 42,10 mm/s, dan 36,94 mm/s. Nilai koefisien permeabilitas tertinggi dihasilkan oleh variasi BP 8 yaitu 52,97 mm/s dan nilai terendah dihasilkan oleh variasi BP6 yaitu 9,32 mm/s, sehingga beton pori pada penelitian ini masuk spesifikasi yang di persyaratkan ACI 522-2010 yaitu diatas 1,4 mm/s.

### 3.3 Pengaruh FA dan limbah *dolochar* terhadap kuat tekan beton pori

Kuat tekan beton pori merupakan nilai yang paling penting dalam menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Beton pori dapat dikategorikan sebagai beton struktur apabila memiliki kuat tekan diatas 17 MPa sehingga dapat digunakan sebagai elemen struktural. Kuat tekan beton pori pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.

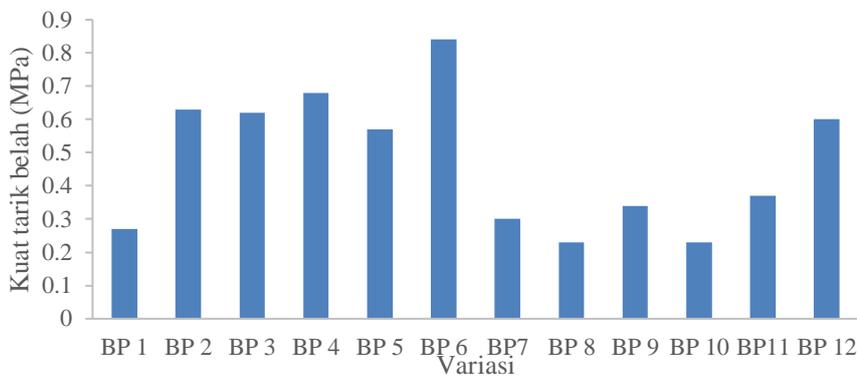


Gambar 3. Kuat tekan beton pori

Kuat tekan beton pori yang dihasilkan pada penelitian ini dipengaruhi oleh penggunaan FA sebagai pengganti sebagian semen. Pada beton pori dengan agregat halus pasir, penggunaan FA meningkatkan kuat tekan beton umur 28 hari pada tiap variasi dengan jumlah pasir yang sama seperti yang terlihat pada variasi BP1, BP3 dan BP5 dengan nilai 7,01 MPa, 13,59 MPa dan 18,04 MPa serta variasi BP2, BP4 dan BP6 dengan nilai 9,98 MPa, 30,78 MPa, dan 22,08 MPa. Penggunaan agregat halus limbah *dolochar* menurunkan nilai kuat tekan beton bila di banding dengan penggunaan agregat halus pasir dan penggunaan FA mampu meningkatkan kuat tekan meskipun tidak sebanding dengan penggunaan agregat pasir yang terlihat pada kuat tekan umur 28 hari dengan variasi BP7, BP9 dan BP11 dengan nilai 4,25 MPa, 7,21 MPa dan 10,29 MPa serta BP8, BP10 dan BP12 dengan nilai 6,58 MPa, 5,09 MPa dan 6,58 MPa. Nilai kuat tekan terbaik dihasilkan oleh variasi BP4 dengan kuat tekan beton sebesar 30,78 MPa pada umur 28 hari dan variasi beton pori berkekuatan struktur dengan kekuatan diatas 17 MPa yang dihasilkan pada penelitian ini adalah variasi BP4, BP5 dan BP6.

### 3.4 Pengaruh FA dan limbah *dolochar* terhadap kuat tarik belah beton pori

Kuat tarik belah beton pori pada penelitian ini dipengaruhi oleh penggunaan FA sebagai pengganti sebagian semen sebagaimana yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kuat tarik belah beton pori

Kuat tarik belah akan meningkat dengan digunakannya FA sebagai pengganti sebagian semen yang terjadi pada beton pori dengan agregat halus pasir pada jumlah yang sama, hal tersebut terlihat pada variasi BP1, BP3 dan BP 5 dengan nilai 0,27 MPa, 0,62 MPa dan 0,57 MPa serta variasi BP2, BP4 dan BP6 dengan nilai 0,63 MPa, 0,68 MPa dan 0,84 MPa. Penggunaan FA juga memberikan peningkatan kuat tarik belah pada beton pori dengan agregat halus limbah *dolochar* ,meskipun tidak sebaik kuat tarik belah beton pori dengan agregat halus pasir yang ditunjukkan pada variasi BP7, BP9 dan BP11 dengan nilai 0,3 MPa, 0,34 MPa dan 0,37 MPa serta variasi BP8, BP10 dan BP12 dengan nilai 0,23 MPa, 0,23 MPa dan 0,6 MPa. Nilai kuat tarik belah beton yang terbaik adalah variasi BP6 yaitu 0,84 MPa dan yang terendah pada variasi BP8 yaitu 0,23 MPa.

#### 4 KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan FA sebagai pengganti sebagian semen pada penelitian ini memberi pengaruh pada peningkatan densitas, kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton pori yang menggunakan agregat halus pasir dan agregat halus *dolochar*. Semakin banyak FA yang digunakan semakin baik nilai-nilai tersebut. Disamping itu, penggunaan FA justru mengurangi nilai koefisien permeabilitas, namun masih tergolong sebagai beton pori karena masih berkisar diantara 1,4-12,2 mm/s. Penggunaan limbah *dolochar* sebagai pengganti pasir tidak menghasilkan densitas, kuat tekan dan kuat tarik belah beton pori yang lebih baik dari pada beton pori yang menggunakan agregat halus pasir, sehingga penggunaan limbah *dolochar* tidak disarankan. Beton pori yang terbaik dari penelitian ini adalah variasi BP4 dengan nilai densitas sebesar 2202,88 kg/m<sup>3</sup>, nilai koefisien permeabilitas sebesar 11,34 mm/s, kuat tekan sebesar 30,78 MPa dan kuat tarik belah sebesar 0,68 MPa dengan komposisi menggunakan FA sebagai pengganti sebagian semen sebesar 25% dari berat semen dan agregat halus pasir sebesar 35% dari berat agregat untuk dapat digunakan sebagai beton pori berkekuatan struktur.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Teknologi Kekuatan Struktur BRIN yang memberikan dukungan dalam penelitian ini dan terima kasih kepada PT. Zircon Inti Persada yang memberikan dukungan pendanaan dalam kerjasama penelitian beton berpori sehingga diperoleh hasil yang baik.

#### REFERENSI

- Darwin, D., Dolan, C. W., & Nilson, A. H. (2016). "Design of Concrete Structures". *McGraw-Hill Education*. New York
- Murià-Vila, D., Sanchez-Ramirez, A.R., Huerta-Carpizo, C.H., & Fernandez-Sola, L.R. (2012). "In-Situ Test of a Precast Pier of an Elevated Viaduct in Mexico City". *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE 2012)*. Lisbon. Portugal
- Sumarno, A., Prasetyo, A M., Budiman, I., Nugroho, A., Maidina, Sari, D P., Ngeljaratan, L N., Mustofa, S., Gunawan., Sukalim., & Batubara, J. (2022). "Potensi Material Alternatif Pengganti Semen dan Agregat untuk Bahan Baku Industri Beton di Daerah Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan". *The 2nd Civil Engineering Research Forum*, 2-13.
- Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim M H. (2022). "Environmental impact of cement production and Solutions: A review". *Materials Today: Proceedings* 48, 741-746.
- Katare, V D., & Madurwar, M V. (2020). "Design and investigation of sustainable pozzolanic material". *Journal of Cleaner Production*. 242, 1-9 .
- Lahri, A., & Dixit, S. (2015). "Alternatives to Cement in Concrete – A Review". *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Volume 6 Issue 10. 50-56.
- Nayak, D K., Abhilash, P P., Singh, R., Kumar, R., & Kumar, V. (2022). "Fly ash for sustainable construction: A review of fly ash concrete and its beneficial use case studies". *Cleaner Materials* 6. 1-35.
- Ramadevi, K., & Chitra, R. (2017). "Concrete Using Recycled Aggregates". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Volume 8, Issue 9. 413-419.
- Triaswati, M N., Harijanto, D., Wibowo, B., & Ismoyo, W. (2019). "Penggunaan Abu Batu untuk Mengurangi Agregat Pasir Alami pada Campuran Beton dengan Penambahan Zat Additive Type D". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas* .Vol. 3 Edisi Khusus 2. 35-43.
- Hamada, H., Alattar, A., Tayeh, B., Yahaya, F., & Adesina, A. (2022). "Sustainable application of coal bottom ash as fine aggregates in concrete: A comprehensive review" . *Case Studies in Construction Materials* 16. 1-17.
- Prasetyo, A M., & Sumarno, A. (2022). "Pemanfaatan Limbah Spent Bleaching Earth (SBE) untuk Beton Ringan Sebagai Material Konstruksi yang Ramah Lingkungan". *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Volume. 23 No. 1. 71-76.
- Sahoo, S., Mohanty, C.R., Pradhan, P.K.(2014). Utilisation of Dolochar in Road Construction. *Journal of Civil Engineering Research*. Vol. 4 No.2. 37-41.
- Ginting, A. (2015). Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*. Volume 11 Nomor 2. 76-168.
- Khonado, M F., Manalip, H., & Wallah, S E. (2019). Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik* . Vol.7 No.3. 351-358.
- Anggraini, R., Nanda, R E., Warman, H., Taufik., & Mulyani, R. (2022). Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous. *Jurnal REKAYASA*. Vol 12 No.01. 11.25.