



KARAKTERISTIK BETON LOLOS AIR (*PERVIOUS CONCRETE*) MEMANFAATKAN *FLY ASH* DAN SERAT LIMBAH PLASTIK SEBAGAI PENUNJANG BANGUNAN RENDAH KARBON

Astiah Amir*, Fadli Idris, Aulia Rahman

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh

*Corresponding author, email address: astiahamir@utu.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Article History:</i> Received 28 December 2023 Accepted 1 March 2024 Online 30 March 2024 <i>Keywords:</i> Pervious concrete Fly ash Plastic fibre Low carbon	The abundant use of concrete as a road clamping material in parking, especially in residential areas, increases the area covered by concrete. This leads to a decrease in the infiltration rate, a shorter accumulation time, and stagnation. In fact, the use of normal, waterproof concrete is not always suitable for all types of structures; there are those that are better suited to use pervious concrete, for example, parking areas, canal covers, reservoir buildings, and others. It's meant to increase the rate of infiltration. It is recognized that the carbon footprint of concrete must be kept within limits to ensure sustainability. Thus, efforts have been made to design a variety of waterproof concrete where cement is partially replaced by fly ash and plastic in various proportions to reduce its carbon footprint. The aim of this study was to find out the characteristics of concrete escaping water with partial substitution of fly ash and plastic aggregates. The method used is the experimental method. By making variations of the test object, namely the concrete cylinder test object with the size of 150 mm x 300 mm, the planned concrete design mix is 25 MPa of normal concrete quality, and the water-fading concrete mix with the substituting material fly ash is 15% against the weight of cement and plastic fiber of 1%, 2.5%, and 5% against the mass of fine aggregate. The test object for each variation and percentage is three test objects. Testing the characteristics of concrete was done at the age of 28 days. The results of this study are the compressive strength test results between BN and BSN 1, where there is a decrease in compressive strength of 27%, and then for BSN 2, BSN 3, and BSN 4, where there is a decrease in strength as the percentage of plastic aggregates increases.

©2024 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan curah hujan yang tinggi, sehingga sering terjadi banjir dan timbulnya area genangan yang dapat merusak pemandangan dan mengganggu kesehatan. Hal ini sebagian disebabkan oleh sifat kedap dari trotoar bitumen dan beton. Proses alami dari siklus air telah diubah oleh perkembangan manusia dan praktik konstruksi. Dalam keadaan alami, air hujan jatuh ke bumi dan diserap ke dalam tanah dan vegetasi di mana air hujan tersebut disaring, disimpan, diupkan, dan kembali ke dalam siklus yang terus mengalir (Ahmed dan Hoque, 2020). Namun, meningkatnya kendaraan bermotor mengarah pada penutup permukaan tanah yang kedap air dengan trotoar aspal atau beton. Dengan menutup filter alami bumi, potensi limpasan berlebih meningkat yang dapat menyebabkan sejumlah masalah seperti banjir, dan genangan. Berikut contoh genangan yang terjadi pada area parkir *paving block* yang terpasang di Kota Meulaboh dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Genangan air pada area parkir
(Sumber dokumentasi penulis, 2023)

Beton lolos air (*pervious concrete*), berperan penting dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah, mengisi ulang air tanah dan mengurangi limpasan air hujan. Pemakaian beton untuk berbagai macam bangunan tidak semuanya dibutuhkan beton kedap, seperti *paving block* untuk jalan, halaman, lapangan parkir, bangunan resapan untuk pemukiman, dan juga bangunan-bangunan talud, penahan lereng yang memerlukan porositas tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa banyak bangunan yang membutuhkan beton lolos air. Beton lolos air merupakan beton yang ramah lingkungan, yang diharapkan bisa menjawab permasalahan mengecilnya kapasitas infiltrasi lahan dan besarnya *run – off*, besarnya debit banjir, genangan serta tanah longsor .

Saat ini pembangunan berbasis rendah karbon sedang digalakkan, emisi yang ditimbulkan oleh kegiatan pembangunan konstruksi menambah produksi Gas Rumah Kaca (GSK), menyebabkan terjadinya pemanasan global. Beton sebagai bahan konstruksi masih begitu populer digunakan, namun proses produksi semen, menimbulkan polusi udara. Mengurangi penggunaan semen dapat dilakukan dengan cara menghilangkan beton atau menggunakan beton yang lebih rendah mutunya pada daerah tarik di balok beton, sejalan dengan penelitian (Amir dkk., 2022), (Irmawaty dan Djameluddin, 2022), memanfaatkan limbah sebagai bahan pengganti sebahagian pada campuran beton sejalan dengan beberapa penelitian (Fakhrudin dkk., 2021), (Metteb, Abdalla, dan Al-Ameen, 2020), (Hama dan Hilal, 2017), (Giergiczny, 2019) dan pemanfaatan limbah *steryofoam EPS* (Rauf dkk., 2021), (Nuaklong dkk., 2021).

Limbah plastik merupakan limbah anorganik yang sulit terurai oleh mikroorganisme, terutama limbah botol plastik air mineral yang sulit dikendalikan. Volume beton mengandung 65-80% agregat, sehingga penggunaan limbah plastik dalam beton sebagai pengganti parsial agregat dapat mengurangi jumlah limbah plastik secara signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian (Rai dkk., 2019). Limbah plastik, merupakan limbah yang sulit untuk diuraikan (Ming dkk., 2021), (Burhanuddin, Basuki, dan Darmanijati 2020) dan limbah *fly ash* menurut (Thomas, 2007), merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan untuk dijadikan sebagai bahan campuran beton. Gambar 2 memperlihatkan limbah *fly ash* dan Gambar 3 menunjukkan limbah plastik yang digunakan untuk campuran beton.

2. KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan literatur terdahulu, dapat diketahui bahwa jenis gradasi agregat, rasio air terhadap semen dan rasio semen terhadap agregat memegang peranan penting yang sangat mempengaruhi kekuatan, porositas, permeabilitas dan daya tahan karakteristik dari campuran beton tembus air. Namun, sebagian besar literatur yang tersedia didasarkan pada gradasi agregat untuk *pervious concrete* dan pemanfaatan limbah plastik sebagai pengganti sebagian agregat halus dan *fly ash* untuk substitusi parsial semen. Beberapa penelitian yang sejalan oleh (Burhanuddin, Basuki, dan Darmanijati, 2020), meneliti tentang Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik sebesar 5% dan variasi *fly ash* terhadap penyerapan *paving block* ramah lingkungan, hasilnya adalah semakin besar persentase *fly ash* maka semakin besar

daya serap air, hal ini menyebabkan paving blok tidak memenuhi sifat fisik yang telah ditentukan oleh SNI 03-0691-1989 yaitu sebesar 3-10%. Selanjutnya oleh (Mohd Nasir dkk., 2022) menggunakan uji *Scanning electron microscope* (SEM), yaitu Gambar 4. Foto SEM morfologi permukaan *fly ash* dan *fly ash* komposit. (a) Morfologi permukaan *fly ash* dan (b) morfologi permukaan *fly ash* komposit penelitian beton geopolymer hijau dan berkelanjutan, biaya produksi yang rendah dan memiliki umur layan yang lama. Yang paling penting, memanfaatkan sampah plastik dan *fly ash*, dapat dilihat pada Gambar 4.

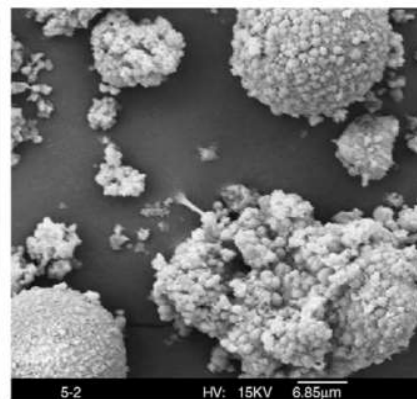
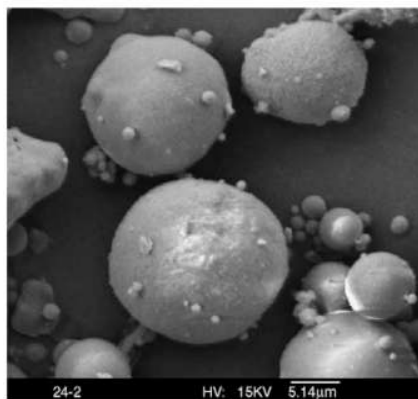


Gambar 2. Fly ash



Gambar 3. Serat limbah botol plastik

(Sumber. Dokumentasi Penulis, 2023)



Gambar 4. Foto Hasil Uji SEM a. *Surface morphology of fly ash* and (b) *surface morphology of composite fly ash* ((Mohd Nasir dkk., 2022)

Beberapa penelitian lain terkait beton lolos air untuk pembuatan *paving block* oleh (Hung dkk., 2021), meneliti tentang identifikasi perbedaan porositas dan koefisien permeabilitas ketika rasio pencampuran agregat berbeda dan untuk menyajikan rasio pencampuran yang memenuhi persyaratan kekuatan tekan yang ditentukan dalam spesifikasi Korea, hasilnya adalah bahwa mencampur 50% untuk agregat 5-10 mm, 45% untuk agregat 2-5 mm, dan 5% untuk pasir dalam hal kekuatan dan permeabilitas. Selain itu, ketika proporsi agregat halus meningkat, porositas dan permeabilitas menurun. Oleh (Ghimire dkk., 2021), (Ahmed dan Hoque, 2020). Meskipun sistem beton lolos air dapat secara efektif memecahkan masalah drainase perkotaan, ada masalah mengenai perilaku dan desain campuran. Kinerjanya bergantung pada dua karakteristik utama; 'Kekuatan' dan 'Permeabilitas', dengan menggunakan standar ACI 522R-10, dianggap mampu untuk menjawab permasalahan kondisi lapangan yang berbeda memerlukan spesifikasi yang berbeda. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat untuk menentukan desain campuran yang ideal akan memudahkan desain dan pemasangan *paving block* beton lolos air.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Program Eksperimental

Metode yang digunakan pada riset ini adalah metode eksperimental di laboratorium, dengan pengujian propertis material, karakteristik beton, menggunakan standar ACI 522R-10 untuk beton lolos air, sedangkan untuk beton normal menggunakan peraturan ASTM (*American Society for Testing of Materials*) dan ACI (*American Concrete Institute*).

Desain campuran beton normal yang akan digunakan sebagai benda uji pembanding mengacu pada (Prester Secretary Michael Boyle Chairman David A Crocker Chairman dkk., 1998), bahan beton yang digunakan adalah beton baru yang dipakai juga pada pengujian *slump* dan kuat tekan. Dimensi benda uji silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Komposisi Bahan Campuran Beton Normal dan Beton Lolos Air. Berdasarkan (ACI 522R-10, 2010), agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan (*ASTM D 448 - 03a Standard classification for sizes of aggregate for road and bridge construction n.d.*) dan (*ASTM C33/C33M - 13 2010*). Kandungan agregat halus terbatas pada campuran beton lolos air (berpori) karena cenderung mengganggu keterhubungan sistem pori. Kualitas agregat pada beton lolos air (berpori) sama pentingnya dengan beton konvensional. Partikel yang bersisik atau memanjang harus dihindari.

a. Beton Normal

Mix design beton normal dianalisis berdasarkan standar ACI, proporsi yang didapat adalah proporsi yang mempunyai basis kondisi agregat kering, dengan FAS 40%. Saat pelaksanaan di lapangan, kondisi agregat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah kondisi apa adanya, sehingga harus ada penyesuaian dengan rancangan yang sudah dibuat. Untuk melakukan koreksi penyesuaian rancangan campuran diperlukan data kadar air dan resapan agregat. dengan mutu beton rencana adalah 30 MPa, umur 28 hari, cacat maksimum 5%. Volume pekerjaan 1000 m³. Lingkungan non korosif. Pengawasan pelaksanaan baik. ukuran butir agregat maksimum 19 mm. Pembuatan dan pemeliharaan benda uji selinder beton mengacu pada (Test dkk., 2014)

b. Beton Lolos Air Memanfaatkan *fly ash* dan serat plastik.

Berdasarkan (Bunyamin, Silviana, and Lindawati 2021), *mix design* untuk beton lolos air (porous) terdiri dari: semen (270 - 415 kg), agregat (1190 - 1480 kg), faktor air semen (0,27 – 0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil (0 sampai 1 : 1). Pada riset ini digunakan Faktor air semen (FAS) adalah 34%, menggunakan komposisi 55% agregat lolos saringan 1/2" namun tertahan 3/8" dan 45% agregat lolos saringan 3/4" namun tertahan 1/2", pencampuran menggunakan *concrete mixer*. *Mix design* beton normal dan beton lolos air, dilihat pada Tabel 1. Mutu beton yang direncanakan f'_c 25 MPa, dengan substitusi parsial agregat plastik berupa serat plastik dengan kadar 1%, 2,5% dan 5% terhadap berat agregat. *Fly ash* biasanya digunakan dalam fraksi volume antara 0%-30% dalam campuran beton mengacu pada [(Crouch L K 2013), pada penelitian ini, digunakan 15% *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial terhadap berat semen dan komposisi pasir : batu pecah digunakan (0.5 : 1).

Pengujian kuat tekan Selinder beton dengan ukuran 150 mm x 300 mm, dilakukan setelah umur 28 hari, sesuai dengan standar (ASTM C39-03 2015). Pada Gambar 5.b, dapat dilihat *set Up* pengujian kuat tekan beton, dengan posisi benda uji selinder beton yang diletakkan secara vertikal pada mesin Uji *Universal Testing Machine* (UTM) dengan perletakan *transducer*, untuk mengukur perubahan ukuran benda uji baik secara vertikal maupun horizontal. Pemberian tanda pada benda uji, tarik garis pada setiap sisi ujung silinder benda uji dengan mempergunakan peralatan bantu yang sesuai hingga dapat memastikan bahwa kedua garis tengah tadi berada dalam bidang aksial yang sama. Terdiri dari tiga bagian yaitu, bagian alas tempat, pelat atau batang bantu penekanan, dan dua buah bagian tegak yang kegunaannya untuk meletakkan benda uji. Pemberian beban dilakukan secara menerus tanpa sentakkan dengan kecepatan pembebanan konstan yang berkisar antara 0,7 hingga 1,4 MPa per menit sampai benda uji hancur. Kecepatan pembebanan untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran panjang 300 mm

dan diameter 150 mm berkisar antara 50 sampai 100 kN per menit sampai beton hancur. Gambar benda uji beton normal dan beton lolos air dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Komposisi *mix design* beton normal, dan beton ringan serat plastik (m^3)

No	Bahan	Berat (Kg/m^3)				
		Beton Agregat plastik				
		Beton Normal	Lolos Air	1%	2.5%	5%
1	Air	182.69	180.17	180.17	180.17	180.17
2	Semen	461.70	415.5	353.18	353.18	353.18
3	Pasir	613.49	66.84	66.84	66.84	66.84
4	Batu pecah	1021.67	1269.95	1190	1190	1190
5	Agregat plastik	-	-	12.69	31.75	63.49
6	<i>Fly Ash</i> 15%	-	-	62.33	62.33	62.33
Berat Total		2280.75	1932.47	1932.47	1932.47	1932.47



a. Benda Uji Selinder Beton

b. Set Up pengujian kuat tekan

Gambar 5. a. Benda uji selinder beton dan b. Set Up pengujian kuat tekan

3.2 Lokasi Penelitian

Riset dilaksanakan di laboratorium Universitas Universitas Teuku Umar Kegiatan pembuatan benda uji dan pengujian karakteristik beton dilakukan di Universitas Teuku Umar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini meliputi berat volume, berat jenis, absorpsi dan analisa saringan. Proses penyaringan agregat dilakukan secara manual menggunakan alat penyaring sesuai gradasi. Pengujian analisa saringan dilakukan hanya untuk melihat gradasi agregat. Pada penelitian ini diperoleh data pendukung dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi syarat sebagai material pembentuk beton.

4.1.1 Berat Volume (*Density*)

Berdasarkan (C29/C29M-09 2009), diperoleh hasil perhitungan berat volume rata-rata yang diperoleh untuk jenis agregat kasar diperlihatkan pada Nomor.1 untuk beton berpori dan Nomor 2 untuk Beton Normal, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan berat volume rata-rata yang diperoleh untuk jenis agregat kasar

No	Jenis Agregat	Berat Volume (Kg/liter)	Referensi Standar
1	Coarse Aggregate (9-12 mm) beton lolos air (<i>Pervious concrete</i>)	1,200	(1,119 - 1,480) ACI 522R
2	Coarse Aggregate (5-9 mm) beton normal	1,596 >1,445	>1,445 Orchard (1979)
	Fine Sand (0-5 mm) beton normal	1,601	

4.1.2 Berat jenis dan absorpsi (*specific gravity and absorption*)

Hasil perhitungan berat jenis dan absorpsi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat jenis dan absorpsi agregat sesuai dengan standar (Test dkk., 2014).

No	Jenis Agregat	Berat Jenis (Kg/liter)		Referensi Standar
		SG (SSD)	SG (OD)	
1	Beton lolos air (<i>Pervious Concrete</i> (9-12 mm)	2,658	2,582	1,60 - 3,20
2	Coarse Aggregate (5-9 mm) beton normal	2,641 2,562	2,641 2,562	
	Fine Sand (0-5 mm) beton normal	2,562 2,546	2,562 2,546	

Berdasarkan Tabel 3, hasil pemeriksaan nilai berat jenis terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*), pasir (*fine sand*) kering air permukaan (*saturate surface dry/SSD*) dan kering oven (*oven dry/OD*) yaitu telah memenuhi ketentuan yang di isyaratkan oleh ASTM terhadap berat jenis yaitu berkisar diantara 1,60 – 3,20 Kg/I baik pada beton berpori maupun beton normal sama-sama sudah memenuhi ketentuan.

4.1.3 Berat jenis dan absorpsi (*specific gravity and absorption*)

Hasil perhitungan berat jenis dan absorpsi agregat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat

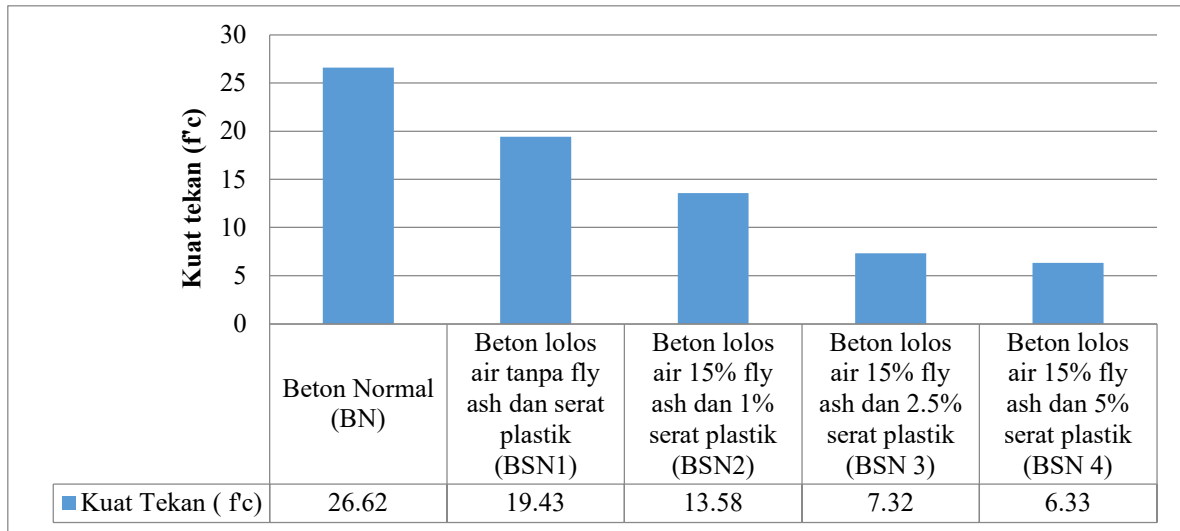
No	Jenis Beton	Jenis Agregat	Absorpsi (%)	Referensi ASTM
1	Beton lolos air (<i>Pervious Concrete</i> (9-12 mm)	Coarse Aggregate (9-12 mm)	2.934	0.2-4.0
2	Beton normal	Coarse Aggregate (5-9 mm)	3.185	
3	Agregat beton normal	Fine Sand (0-5 mm)	2.746	0.2-2.0

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai absorpsi jenis beton berpori terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) yang diperoleh ialah 2,934%. Kemudian pada jenis beton normal, nilai absorpsinya terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) yang diperoleh ialah 3,185%. Sedangkan untuk nilai absorpsi terhadap pasir (*fine sand*) yaitu 2,746%. Kesimpulan pada pemeriksaan nilai absorpsi terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) sudah sesuai dengan ketentuan ASTM 0,2-4,0% yaitu pada agregat kasar beton berpori dan beton normal. Pada pasir (*fine sand*) nilai absorpsinya belum sesuai dengan ketentuan ASTM sebesar 0,2-2,0% dengan nilai absorpsinya sebesar 2,746%. Nilai absorpsi agregat yang tinggi berpengaruh pada campuran beton sehingga membuat campuran beton lebih cepat menyerap air. Hal ini dapat diatasi dengan cara penggunaan air sesuai dengan perhitungan berdasarkan nilai absorpsi yang

tinggi tadi, dan penambahan *superplasticizer* pada beton dimaksudkan untuk mengurangi kebutuhan air pada bahan campuran beton untuk mengurangi faktor air semen.

4.2 Kuat Tekan

Benda uji berupa selinder beton dengan ukuran 150 mm x 300 mm. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin UHT. Pengujian kuat tekan beton normal dan beton lolos air, dilakukan pada umur 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan beton silinder pada 28 hari, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian kuat tekan benda uji beton normal dan beton lolos

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwa, jika dibandingkan hasil uji kuat tekan antara BN dan BSN 1, terjadi penurunan kuat tekan sebesar 27%, sedangkan jika dibandingkan antara BSN 1 dengan, BSN2, BSN 3, dan BSN 4 adalah berturut-turut terjadi penurunan kuat tekan sebesar 30.1%, 62.32%, dan 67.4%. Hasil pengujian kuat tekan beton berpori serat nylon umur 28 hari berdasarkan (Mulyono, 2019) penggolongan beton ringan, 58 beton berpori termasuk beton ringan struktural dari benda uji silinder beton tergolong dalam beton ringan struktural jika kuat tekan memiliki kuat tekan ($f'c$) 17-35 MPa.

5. KESIMPULAN DAN SARAN.

Hasil pengujian kuat tekan beton lolos air (*pervious concrete*) pada umur 28 hari termasuk dalam beton mutu rendah berdasarkan pengelompokkan beton berdasarkan kuat tekan (SNI 03-6468-2000) dari benda uji silinder (diameter 15 cm, tinggi 30 cm) beton tergolong dalam beton mutu rendah jika kuat tekan memiliki kuat tekan ($f'c$) < 20 MPa sedangkan menurut ACI 522R-10 menyebutkan bahwa nilai kuat tekan beton berpori berkisar antara 2,8-28 MPa. Oleh sebab itu mutu hasil pengujian beton lolos air pada riset ini telah sudah memenuhi nilai kuat tekan, tetapi tidak sesuai dengan kuat tekan rencana yaitu $f'c = 25$ MPa. Namun demikian disarankan untuk penelitian selanjutnya, perlu dicoba dengan *mix design* dengan gradasi yang berbeda, supaya mendapatkan nilai kuat tekan yang direncanakan dan juga sebagai bahan perbandingan kuat tekan yang mampu dihasilkan dan menambah pengetahuan tentang perbedaan bandingan data yang dihasilkan oleh masing-masing *mix design*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada seluruh member laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Teuku Umar, mahasiswa yang turut membantu, dalam penelitian ini yaitu Adithia Purnawan, Mulyanda, dan Cut Karimuddin. Terima kasih terutama kepada Bima Kemendikbud atas *support finansial*nya terhadap riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T., dan Hoque, S. 2020. Study on Pervious Concrete Pavement Mix Designs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 476(1). 26-39, May San Fransisco, CA.
- Amir, A., Rahman, A., Opirina, L and Idris, F. 2022. Performance Flexural of RC Beams Without Concrete at Tension Cross-Section. *Journal of Civil Engineering (Iran)*. 8(11), 2560–2572.
- ASTM C33/C33M – 13. 2010. *Concrete Aggregates 1*. i(C): 1–11.
- ASTM C 39/C 39M – 01. 2014. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. 3–9.
- ASTM C39-03. 2015. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1. *ASTM Standard Book i*(March). pp.1–5.
- ASTM D 448 - 03a. Standard Classification for Sizes of Aggregate for Road and Bridge Construction. : pp. 11–12.
- Bunyamin, B., Silviana, M., Lindawati, L. 2021. Influence of Precast Concrete Joints on the Ductility of Beam Elements. *Journal of Physics: Conference Series* 1882(1). 9-13 October, Atlanta GA,US.
- Basuki, B., Darmanijati, M. R. S. 2020. Pemanfaatan Limbah Plastik Bekas Untuk Bahan Utama Pembuatan Paving Block. *Jurnal Rekayasa Lingkungan* 18(1), 1–7.
- C29/C29M-09. 2009. Standard Test Method for Bulk Density (‘ Unit Weight ’) and Voids in Aggregate. *ASTM International i*(c). 1–5.
- Crouch, L. K., Hewitt, R., Byard, B. 2013. High Volume Fly Ash Concrete Road. <https://www.researchgate.net/publication/237417038> 3 (3), 852–856.
- Fakhruddin, Irmawaty, R., Djamaluddin, R. 2021. Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Using PET Plastic as Partial Replacement of Coarse Aggregate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 871(1) 6-11 Oktober, Indonesia.
- Ghimire, Mahendra, Santosh Kumar Thapa, Rameswor Shrestha, Shailesh Gaha Magar. 2021. Characteristic Study of Waste Plastic as a Binding Material in Pervious Pavement Blocks. *KEC Conference 2021*, 109–12. 18 April, Kantipur Engineering College, Dhapakhel, Lalitpur, Nepal.
- Giergiczny, Z. 2019. Fly Ash and Slag. *Journal of Cement and Concrete Research*. 124 (February).
- Hama, S. M., Hilal, N. N. 2017. Fresh Properties of Self-Compacting Concrete with Plastic Waste as Partial Replacement of Sand. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 6(2), 299–308.
- Hung, V.V., Seo, S.Y., Kim, H.W., Lee, G.C. 2021. Permeability and Strength of Pervious Concrete According to Aggregate Size and Blocking Material. *Sustainability (Switzerland)*. 13(1), 1–13.
- Ichsan, R., Amir. A. 2021. Karakteristik Mekanis Material Geokomposit Ringan. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*. 7(1), 61–68.
- Irmawaty, R., Djamaluddin, R. 2022. Flexural Behavior of Monolith and Hybrid Concrete Beams Produced through the Partial Replacement of Coarse Aggregate with PET Waste. *Structures*. 43(July). pp. 1134–44.
- Metteb., Zaineb, W., Fadhel, A, A., Ehsan, S. Al-Ameen. 2020. Mechanical Properties of Recycled Plastic Waste with the Polyester. *AIP Conference Proceedings*. 22-23(March). Baghdad- Iraq
- Ming, Y., Cheng, P., Li, L., Gan, G., Pan, G. 2021. A Comprehensive Review on the Utilization of Recycled Waste Fibers in Cement-Based Composites. *Journal of Materials*. 14(13), 1-28.
- Nasir, M., Hazzarita, N., Usman, F., Saggaf, A., Saloma. 2022. Development of Composite Material from Recycled Polyethylene Terephthalate and Fly Ash: Four Decades Progress Review. *Journal of Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 5, 1-6.
- Nuaklong, P., Nongsa, A., Boonserm, K., Ngohpok, C. 2021. Enhancement of Mechanical Properties of Fly Ash Geopolymer Containing Fine Recycled Concrete Aggregate with Micro Carbon Fiber. *Journal of Building Engineering* 41(February): 102403, 1-10.

- Pretera Secretary Michael Boyle Chairman David A Crocker Chairman, Jay R et al. 1998. ACI 211.2-98 Supersedes ACI 211.2-91 and Became Effective. 1–18.
- Rai, R. K., Mani, N, Khadayat, M. S., Bhardwaj, B. 2019. Improving Municipal Solid Waste Collection Services in Developing Countries: A Case of Bharatpur Metropolitan City, Nepal. *Journal Sustainability (Switzerland)* 11(11), 1-17.
- Thomas, M. 2007. *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete: Portland Cement Association*. 1–24. University of New Brunswick.