

## POTENSI LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN FLY ASH BETON GEOPOLIMER BERPORI SEBAGAI BAHAN BAHU JALAN

### THE POTENTIAL OF HAZARDOUS AND TOXIC WASTE FLY ASH POROUS GEOPOLYMER CONCRETE AS ROAD SHOULDER MATERIAL

<sup>1</sup>Muhammad Akbar Pratama, <sup>2</sup>Subaer, <sup>3</sup>Jasruddin

Universitas Negeri Makassar

Kampus UNM Parangtambung Jln. Daeng Tata Raya, Makassar, 90224

<sup>1</sup>email : [akbarpratama236@gmail.com](mailto:akbarpratama236@gmail.com)

**Abstract: The Potential of Hazardous and Toxic Waste Fly Ash Porous Geopolymer Concrete As Road Shoulder Material.** *This study aims to investigate the porous geopolymer concrete properties in terms of porosity, water permeability and compressive strength of concrete capable of being applied to road shoulder construction. Porous geopolymer concrete is synthesized by alkali activation method using the basic ingredients of fly ash and added small gravel coarse aggregate which are manipulated with a certain ratio of 30%, 45% and 60% of the mass of fly ash, and fine aggregates of aluminum powder as pore-forming in geopolymer concrete. Geopolymer paste is printed with the size of type R concrete brick (rectangular type) then curing at 70°C for 4 hours. Porosity, water permeability, and compressive strength were tested after the sample was 28 days old. Concrete with gravel aggregate of 30%, 45% and 60% sequentially has a porosity percentage of 18,87%, 18,16% and 17,82%, the permeability coefficient value is  $10,3 \times 10^{-4}$  cm/sec,  $8,4 \times 10^{-4}$  cm/sec and  $8,1 \times 10^{-4}$  cm/sec and has a compressive strength of 446.08 kN/m<sup>2</sup>, 566.20 kN/m<sup>2</sup> and 569.36 kN/m<sup>2</sup>. The greater the addition of gravel aggregates in porous geopolymer concrete, the smaller the percentage of porosity and permeability coefficients produced, but the greater the value of compressive strength produced.*

**Kata Kunci:** *Porous Geopolymer Concrete, Compressive Strength, Water Permeability, Porosity*

**Abstrak: Potensi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Fly Ash Beton Geopolimer Berpori Sebagai Bahan Bahu Jalan.** *Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sifat beton geopolimer berpori yang ditinjau dari porositas, permeabilitas air dan kuat tekan beton mampu diaplikasikan pada konstruksi bahu jalan. Beton geopolimer berpori disintesis dengan metode aktivasi alkali menggunakan bahan dasar fly ash dan ditambahkan agregat kasar kerikil kecil yang dimanipulasi dengan perbandingan tertentu yaitu 30%, 45% dan 60% dari massa fly ash, serta ditambahkan agregat halus bubuk aluminium sebagai pembentuk pori pada beton geopolimer. Pasta geopolimer dicetak dengan ukuran bata beton tipe R (tipe persegi panjang) kemudian di-curing pada suhu 70°C selama 4 jam. Dilakukan pengujian porositas, permeabilitas air, dan kuat tekan setelah sampel berumur 28 hari. Beton dengan agregat kerikil 30%, 45% dan 60% secara berurutan memiliki persentase porositas sebesar 18,87%, 18,16% dan 17,82%, nilai koefisien permeabilitas yaitu sebesar  $10,3 \times 10^{-4}$  cm/det,  $8,4 \times 10^{-4}$  cm/det dan  $8,1 \times 10^{-4}$  cm/det dan memiliki kuat tekan sebesar 446,08 kN/m<sup>2</sup>, 566,20 kN/m<sup>2</sup> dan 569,36 kN/m<sup>2</sup>. Semakin besar penambahan agregat kerikil dalam beton geopolimer berpori maka persentase porositas dan koefisien permeabilitas yang dihasilkan semakin kecil, namun semakin besar pada nilai kuat tekan yang dihasilkan.*

**Kata Kunci:** *Beton Geopolimer Berpori, Kuat Tekan, Permeabilitas Air, Porositas*

## PENDAHULUAN

Permasalahan saat ini yang sering dialami ketika musim hujan tiba adalah banjir. Banjir merupakan bencana alam yang kerap melanda berbagai wilayah di Indonesia terutama pada daerah perkotaan yang tidak didukung dengan sistem drainase yang baik. Pengerasan konstruksi jalan menyebabkan resapan air terganggu kemudian menyebabkan genangan air bahkan jika

intensitas air hujan lebih besar dapat menimbulkan banjir. Maka dari itu diperlukan sebuah inovasi dan solusi dimana dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Bahu jalan merupakan bagian tepi dari jalan yang fungsinya biasa digunakan sebagai tempat berhenti kendaraan karena mengalami kerusakan. Bahu jalan biasa dibuat agak miring sekitar 3-5% dari jalur lalu lintas agar air di jalan dengan mudah

menuju ke saluran drainase (Badan Standardisasi Nasional, 2004). Bahu jalan pada umumnya terbuat dari aspal atau beton yang kedap air sehingga menyulitkan air di jalan untuk jatuh ke saluran drainase. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah menggabungkan antara bahu jalan yang terbuat dari bahan yang memiliki kemampuan melewatkan air dan langsung mengalir ke saluran drainase.

Beton merupakan material infrastruktur yang saat ini diminati sebagai penyusun bangunan, jalan, jembatan dan lain-lain. Pada umumnya, beton terbuat dari semen *Portland*. Industri beton berbahan dasar semen *Portland* menghasilkan 5 – 8 % gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang merupakan penyumbang terbesar terhadap pemanasan global yaitu sebesar 65% (Vijai, 2012). Oleh karena itu, untuk menanggulangi masalah tersebut dilakukan beberapa penelitian beton mengenai pengembangan beton ramah lingkungan. Beton ramah lingkungan ini diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen *Portland* atau bahkan mengganti secara keseluruhan peran semen *Portland* sebagai pengikat campuran dalam pembuatan beton. Salah satu beton ramah lingkungan yang banyak dikembangkan adalah beton geopolimer (Cahyadi, 2013).

Beton geopolimer berpori adalah beton yang diproduksi secara khusus memiliki sifat porositas yang tinggi sehingga rongga pada beton dapat dilewati oleh air. Beton geopolimer berpori menggunakan bahan-bahan yang memiliki kandungan senyawa yang sama dengan semen salah satunya adalah *fly ash* (Utami, 2017). Menurut Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014, *fly ash* dikategorikan sebagai bahan berbahaya. Sehingga apabila akan digunakan sebagai bahan material harus di proses terlebih dahulu agar kandungan zat berbahaya di dalam *fly ash* dapat dikendalikan.

Mengganti semen dengan *fly ash* sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton geopolimer berpori dapat mendorong inovasi ramah lingkungan. Menciptakan beton berpori berkualitas yang memiliki daya serap air dan tetap mempertahankan sifat mekanik dari beton sehingga dapat diaplikasikan pada konstruksi bahu jalan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka telah dilakukan penelitian yang berjudul “Potensi Limbah B3 *Fly Ash* Beton Geopolimer Berpori Sebagai Bahan Bahu Jalan”. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana sifat beton geopolimer berpori yang ditinjau dari porositas, permeabilitas air dan kuat tekan beton mampu diaplikasikan pada konstruksi bahu jalan?”. Berdasarkan uraian di atas makna tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menyelidiki sifat beton geopolimer berpori yang ditinjau dari porositas, permeabilitas air dan kuat tekan beton mampu diaplikasikan pada konstruksi bahu jalan.

## METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dalam skala laboratorium. Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat potensial yang mengarah kepada pemanfaatan limbah yakni limbah B3 *fly ash* yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan beton geopolimer berpori sebagai aplikasi konstruksi bahu jalan.

Beton geopolimer berpori disintesis menggunakan bahan dasar *fly ash* yang berasal dari hasil pembakaran batubara PLTU Bosowa-Jeneponto dengan metode aktivasi alkali dan ditambahkan dengan agregat kasar kerikil kecil yang dimanipulasi dengan perbandingan massa tertentu, serta ditambahkan agregat halus bubuk aluminium sebagai pembentuk pori pada beton geopolimer. Hasil sintesis tersebut yang berupa pasta geopolimer kemudian dicetak dalam cetakan kayu ukuran bata beton tipe R (tipe persegi panjang) yang memiliki panjang 200 mm, lebar

100 mm, dan tebal 100 mm. Dilakukan perawatan sampel dan didiamkan selama 28 hari, kemudian dilakukan pengujian porositas, permeabilitas air dan kuat tekan. Setelah itu dilakukan analisis.

Porositas adalah besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton geopolimer. Gradasi atau ukuran butiran yang dimiliki oleh agregat juga berpengaruh terhadap nilai porositas beton karena ukuran yang seragam maka porositas akan semakin besar, sedangkan dengan ukuran yang tidak seragam porositas beton justru berkurang (Nugroho, 2010). Pada data pengujian porositas, dilakukan analisis data dengan menghitung persentase porositas sampel beton geopolimer berpori menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$P = \frac{m_i - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

P = Porositas

$m_d$  = massa beton kering (gr)

$m_i$  = massa beton basah (gr)

Pada data pengujian permeabilitas air, dilakukan analisis data dengan menghitung nilai koefisien permeabilitas sampel beton geopolimer berpori menggunakan persamaan Darcy sebagai berikut (Aulia, 2012) :

$$k_p = \frac{\rho g L Q}{P A} \quad (2)$$

Keterangan :

$k_p$  : koefisien permeabilitas (cm/det)

$\rho$  : massa jenis air ( $\text{g/cm}^3$ )

$g$  : percepatan gravitasi ( $\text{cm/det}^2$ )

$L$  : panjang atau tinggi sampel (cm)

$Q$  : debit aliran air ( $\text{cm}^3/\text{det}$ )

$P$  : tekanan hidrostatis ( $\text{g/cm} \cdot \text{det}^2$ )

$A$  : luas penampang sampel ( $\text{cm}^2$ )

Besar kecilnya koefisien permeabilitas beton geopolimer berpori menyatakan mudah tidaknya beton dilalui oleh air. Semakin besar koefisien permeabilitas semakin mudah dilalui oleh air (Sudipta, 2009).

Kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji/sampel hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (Manuahe, 2014). Pada data pengujian kuat tekan, dilakukan analisis data dengan menghitung kekuatan tekan sampel beton geopolimer berpori menggunakan persamaan 3 sebagai berikut (Subaer, 2015):

$$C = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Keterangan :

C = kekuatan tekan ( $\text{kN/m}^2$ )

F = beban total hingga sampel rontok (kN),

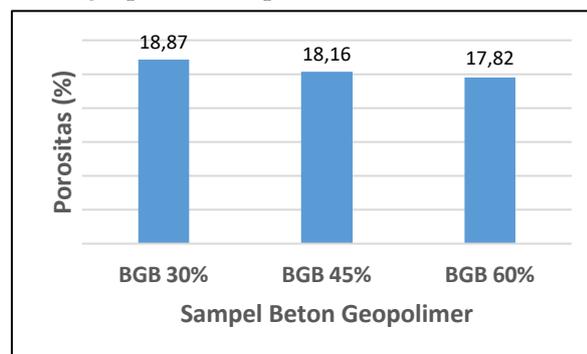
A = luas permukaan sampel yang ditekan ( $\text{m}^2$ )

## HASIL DAN DISKUSI

### A. Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk menyelidiki besar persentase pori yang terdapat pada sampel beton geopolimer berpori.

Gambar 1 menunjukkan persentase porositas yang terdapat pada beton geopolimer berpori dengan komposisi agregat kerikil yang berbeda-beda dengan penambahan agregat halus bubuk aluminium yang sama. Semakin besar penambahan agregat kerikil dalam beton geopolimer berpori, maka persentase porositas yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin rapatnya struktur materi dalam beton geopolimer berpori.



**Gambar 1. Hasil Pengujian Porositas Sampel Beton Geopolimer Berpori**

Sampel beton geopolimer berpori dengan agregat kerikil sebanyak 30% (BGB 30%), 45% (BGB 45%), dan 60% (BGB 60%) berturut-turut

memiliki nilai persentase porositas sebesar 18,87%, 18,16% dan 17,82%. Nilai persentase porositas tersebut dapat terbilang lebih besar dibandingkan dengan persentase porositas beton pada umumnya yang sangat kecil bahkan hampir tidak ada sama sekali.

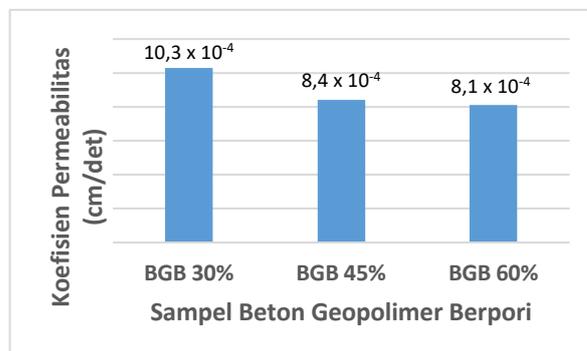
Gambar 2 menunjukkan nilai porositas beton geopolimer berpori mengalami penurunan seiring bertambahnya agregat kerikil. Hal ini disebabkan karena semakin rapatnya materi penyusun di dalam sampel beton geopolimer berpori. Pada umumnya, beton didesain agar kedap air atau memiliki persentase porositas yang sangat rendah sehingga beton dapat digunakan pada konstruksi struktural yang membutuhkan kekuatan tekan yang tinggi. Namun, pada penelitian ini diharapkan beton geopolimer berpori memiliki porositas yang baik dengan kuat tekan yang baik pula sehingga beton geopolimer berpori dapat melewati air dan mampu diaplikasikan pada bahu jalan. Nilai persentase porositas paling rendah dan paling baik terdapat pada sampel beton geopolimer berpori dengan tambahan kerikil yang lebih banyak yaitu pada sampel BGB 60% dengan nilai persentase porositas sebesar 17,82%. Hasil tersebut menunjukkan beton geopolimer berpori akan mengalami penurunan pada nilai kuat tekan yang cukup signifikan

## B. Permeabilitas Air

Pengujian permeabilitas air dilakukan untuk menyelidiki kemudahan air melewati beton geopolimer berpori. Permeabilitas dipengaruhi oleh porositas beton geopolimer berpori. Semakin besar persentase pori yang terdapat pada beton geopolimer berpori, semakin besar permeabilitas airnya.

Gambar 2 menunjukkan nilai koefisien permeabilitas pada sampel beton geopolimer berpori dengan komposisi agregat kerikil yang berbeda-beda dengan penambahan agregat halus bubuk aluminium yang sama. Semakin besar penambahan agregat kerikil dalam beton

geopolimer berpori, maka nilai koefisien permeabilitas yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh besar persentase porositas pada sampel beton geopolimer berpori.



**Gambar 2. Hasil Pengujian Permeabilitas Air Sampel Beton Geopolimer Berpori**

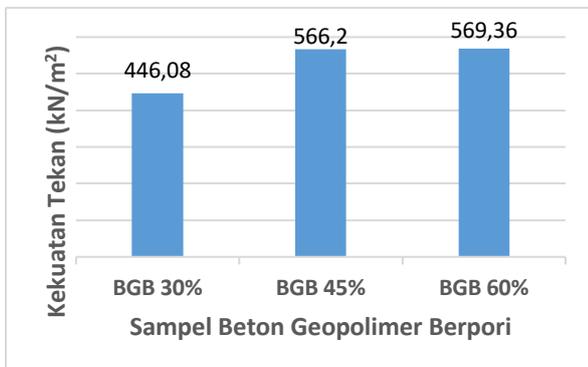
Sampel beton geopolimer berpori dengan agregat kerikil sebanyak 30% (BGB 30%), 45% (BGB 45%), 60% (BGB 60%) berturut-turut memiliki nilai koefisien permeabilitas sebesar  $10,3 \times 10^{-4}$  cm/det,  $8,4 \times 10^{-4}$  cm/det dan  $8,1 \times 10^{-4}$  cm/det.

Gambar 2 menunjukkan nilai koefisien permeabilitas beton geopolimer berpori mengalami penurunan seiring bertambahnya agregat kerikil. Hal ini disebabkan karena persentase porositas yang terdapat pada sampel beton geopolimer berpori semakin sedikit. Dengan adanya nilai persentase porositas yang cukup tinggi diharapkan nilai koefisien permeabilitas pada beton geopolimer berpori yang didapatkan mampu melewati air dengan baik. Namun, hasil yang didapatkan menunjukkan beton geopolimer berpori yang memiliki nilai persentase porositas paling tinggi sebesar 18,87% yaitu pada sampel BGB 30% hanya memiliki koefisien permeabilitas sebesar  $10,3 \times 10^{-4}$  cm/det. Hasil tersebut menunjukkan beton geopolimer berpori masih membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melewati air pada porinya. Selain karena faktor porositas, permeabilitas beton geopolimer berpori juga dipengaruhi oleh gradasi agregat yang digunakan serta perawatan beton yang diberikan.

### C. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang kualitas sifat struktur ataupun sifat fisik beton geopolimer berpori. Kuat tekan didapatkan dari gaya sebesar  $F$  yang diberikan pada beton geopolimer berpori dibagi dengan luas bidang tekan  $A$ .

Gambar 3 menunjukkan kekuatan tekan beton geopolimer berpori dengan komposisi agregat kerikil yang berbeda-beda dengan penambahan agregat halus bubuk aluminium yang sama. Semakin besar penambahan agregat kerikil yang diberikan dalam beton geopolimer berpori, maka kekuatan tekan yang dihasilkan semakin besar pula, namun peningkatannya tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena besarnya pori yang terbentuk dalam sampel beton geopolimer berpori.



**Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Geopolimer Berpori**

Sampel beton geopolimer berpori dengan agregat kerikil sebanyak 30% (BGB 30%), 45% (BGB 45%), 60% (BGB 60%) berturut-turut memiliki kuat tekan sebesar 446,08 kN/m<sup>2</sup>, 566,20 kN/m<sup>2</sup> dan 569,36 kN/m<sup>2</sup>.

Gambar 3 menunjukkan nilai kekuatan tekan beton geopolimer berpori mengalami kenaikan seiring bertambahnya agregat kerikil. Hal ini disebabkan karena semakin rapatnya materi penyusun di dalam sampel beton geopolimer berpori sehingga nilai persentase porositas menurun. Berdasarkan syarat mutu bata beton dalam SNI 03-0691-1996, bata beton mutu A

digunakan untuk jalan memiliki kekuatan tekan minimal 35 MPa (Badan Standardisasi, 1996), sedangkan hasil kuat tekan beton geopolimer berpori yang didapatkan memiliki kuat tekan yang sangat kurang. Hasil kuat tekan tersebut dipengaruhi oleh tingkat porositas yang terdapat pada sampel beton geopolimer berpori. Kekuatan tekan beton geopolimer berpori yang paling baik terdapat pada sampel dengan tambahan kerikil yang lebih banyak yaitu pada sampel BGB 60% memiliki nilai kuat tekan sebesar 569,36 kN/m<sup>2</sup> dengan nilai persentase porositas 17,82%, apabila nilai kuat tekan dikonversi ke dalam MPa hanya sebesar 0,56936 MPa. Hasil tersebut menunjukkan beton geopolimer berpori bersifat rapuh dan tidak dapat diaplikasikan pada konstruksi bahu jalan.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa beton geopolimer berpori untuk aplikasi bahu jalan masih harus dipertimbangkan karena memiliki porositas yang cukup tinggi menyebabkan kuat tekan menjadi sangat rendah dan bersifat rapuh. Sampel BGB 60% memiliki nilai porositas dan kuat tekan paling baik dengan nilai persentase porositas sebesar 17,82% dan nilai kuat tekan sebesar 569,36 kN/m<sup>2</sup>, dikonversi ke dalam MPa hanya sebesar 0,56936 MPa. Beton geopolimer berpori juga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melewatkan air pada porinya. Sampel BGB 30% memiliki porositas paling tinggi sebesar 18,87% hanya memiliki koefisien permeabilitas sebesar  $10,3 \times 10^{-4}$  cm/det. Selain karena faktor porositas, permeabilitas beton geopolimer berpori juga dipengaruhi oleh gradasi agregat yang digunakan serta perawatan beton yang diberikan.

### SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian lebih lanjut dengan

komposisi campuran yang berbeda agar mengurangi porositas dan meningkatkan kuat tekan beton geopolimer berpori. Dilakukan pula penelitian yang meninjau beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi porositas, permeabilitas dan kuat tekan beton geopolimer berpori demi terwujudnya pengaplikasian pada konstruksi bahu jalan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Aulia, M. D., 2012. *Studi Eksperimental Permeabilitas dan Kuat Tekan beton K-450 Menggunakan Zat Adiktif Conplast WP421*. Jurnal Majalah Ilmiah UNIKOM, Vol 10, No2
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. *Geometri Jalan Perkotaan*. RSNI T-14-2004
- Badan Standardisasi Nasional, 1996. *Bata Beton (Paving Block)*. SNI 03-06691-1996
- Cahyadi, D., 2013. *Sifat Mekanik Dan Durabilitas Polypropylene Fiber Reinforced Geopolymer Concrete (PFRGC)*. Teknik sipil, 1 No. (2339-0271)
- Manuahe, Riger., 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Skripsi, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Nugroho, 2010. *Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Skripsi : Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Peraturan Pemerintah No. 101, 2014. *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*, Republik Indonesia.
- Subaer, S., 2015. *Pengantar Fisika Geopolimer*. ISBN:978-979-1082-79-2
- Sudipta, I.G.K., Sudarsana, K., 2009. *Permeabilitas Beton dengan Penambahan Styrofoam*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 13, No. 2, Juli 2009
- Utami, R. Herbudiman, B. & Irawan, R.R. 2017. *Efek Tipe Superplasticizer terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash*. Jurusan Teknik Sipil Itenas, Vol. 3, No. 1, Maret 2017
- Vijai, K. 2012. *Properties of Glass Fibre Reinforced Geopolymer Concrete Composite*, Asian Journal Of Civil Engineering (Building Housting), 511-520