

PENGARUH RASIO PREKURSOR DAN ALKALIN AKTIVATOR TERHADAP POROSITAS PEREKAT GEOPOLIMER

Ni Kadek Astariani^{1*}

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Jl. Padma Penatih Denpasar Timur
e-mail: kadek.astariani@unr.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada pengaruh rasio alkalin aktivator yang terdiri dari sodium silikat (SS) dan sodium hidroksida (SH) terhadap porositas perekat geopolimer. Bahan dasar perekat geopolimer ini berasal dari serbuk batu pipih (SBP) Umeanyar. SBP Umeanyar memiliki kandungan SiO₂ (49%), Al₂O₃ (11%), CaO (11.2%) dan menggunakan aktivator NaOH dengan konsentrasi 14 M. Proporsi campuran prekursor dan aktivator (P/A) sebesar 70%: 30%; 75%: 25%; 80%: 20% dan alkalin aktivator Na₂SiO₃ : NaOH (SS/SH) sebesar 1:1; 1.5:1; 2:1, terhadap berat prekursor. Sampel benda uji dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 25 mm dan tinggi 50 mm dan diuji pada umur 7 dan 28 hari. Uji porositas berdasarkan ASTM C642-06. Hasil uji porositas perekat geopolimer menurun hingga 4,24% pada umur 28 hari ketika rasio P/A menurun dan ratio SS/SH meningkat. Sedangkan hasil uji porositas meningkat hingga 10,69% ketika P/A meningkat dan rasio SS/SH menurun pada umur 28 hari.

Kata kunci: geopolimer, porositas, serbuk batu pipih, prekursor, aktivator

PENDAHULUAN

Perekat geopolimer merupakan perekat geosintetik yang menggunakan bahan yang tidak berasal dari semen. Istilah geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Davidovits pada tahun 1978 yang menemukan adanya ikatan polimerisasi antara aktivator alkalin dengan bahan utama berupa abu terbang dan abu sekam padi (Davidovits 2008). Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam melalui proses polimerisasi dengan bahan utama dalam pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang mengandung unsur silika dan alumina (Davidovits 1994). Penelitian tentang geopolimer terus dilakukan hingga saat ini, karena penggunaan bahan perekat ini dapat dijadikan alternatif penggunaan semen.

Penggunaan semen hingga saat ini produksinya telah mencapai 4 miliar ton per tahun yang berarti hampir sekitar 4 miliar ton gas CO₂ dilepas ke lapisan atmosfer tiap tahunnya (Ellis et al. 2019). Dalam produksinya, semen memerlukan energi yang sangat besar karena terjadi pemanasan hingga temperatur 1400°C-1500°C (Tokheim et al. 2019) dan (Miryuk 2019). Dengan hasil emisi gas CO₂ yang cukup besar disertai temperatur tinggi dalam produksinya, tindakan mitigasi yang dapat dilakukan adalah mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan perekat dalam campuran beton sehingga dapat pula mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penelitian tentang geopolimer hingga saat ini terus dilakukan. Bahan mentah atau prekursor geopolimer biasanya menggunakan abu terbang, abu sekam padi, metakaolin, whiteclay atau bahan lain yang banyak mengandung silika dan alumina. Pengaruh penggunaan prekursor ini dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari perekat geopolimer. Faktor-faktor lain yang turut mempengaruhi adalah larutan aktivator, temperatur, konsentrasi molaritas dan ukuran partikel (Venkata et al. 2013). Penelitian tentang penggunaan abu terbang sebagai prekursor yang mengandung silika dan alumina lebih dari 50% yang diaktifkan dengan larutan aktivator mampu menghasilkan kuat tekan melebihi semen konvensional (Firdaus et al. 2019). Selain kuat tekan sebagai sifat mekanik perekat, sifat fisik perlu juga diperhatikan dalam pembuatan perekat geopolimer. Salah satunya adalah porositas yang menggambarkan ruang kosong dalam suatu bahan tertentu. Porositas dapat didefinisikan sebagai rasio antara volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total material (Farhana et al. 2014).

Penggunaan prekursor flyash dan alkalin aktivator dengan rasio sodium silikat (SS) dan sodium hidroksida (SH) meningkat dari 0,5 hingga 2,5 memberikan hasil tingkat porositas yang semakin menurun (Risdanareni et al. 2015). Pengaruh variasi temperatur curing dan rasio aktivator juga dapat mempengaruhi hasil porositas benda uji. Penelitian yang dilakukan oleh Doğan-Sağlamtimur et al. (2019) menggunakan fly ash sebagai bahan dasar pembuatan perekat geopolimer. Dalam penelitian ini rasio prekursor/aktivator (P/A) yang digunakan sebesar 0,2 dan 0,4 sedangkan rasio SS/SH dari 1 hingga 3. Variasi temperatur curing antara 70°C dan 100°C selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat porositas terendah pada rasio P/A sebesar 0,2 dan ratio SS/SH sebesar 2. Penelitian lain tentang porositas yang menggunakan prekursor fly ash, memberikan hasil pada umur pengujian 7 hari memiliki tingkat porositas 11,95%, sedangkan pada umur 28 hari menurun hingga 7,65% (Farhana et al. 2015). Dalam penelitian ini akan dikaji tentang pembuatan perekat geopolimer dengan menggunakan prekursor bahan alam yaitu serbuk batu pipih Umeanyar. Parameter yang akan ditinjau adalah sifat fisik perekat yaitu porositas dengan variasi prekursor dan aktivator serta rasio alkalin aktivator yang diuji pada umur 7 dan 28 hari.

MATERIAL DAN METODE

Material

Prekursor yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk batu pipih Umeanyar yang lolos saringan 200 (Gambar 1). Hasil uji XRF dari serbuk batu pipih Umeanyar sudah pernah dilakukan pada penelitian Astariani et al. (2021) dan ditampilkan pada Tabel 1. Alkalin aktivator yang digunakan ada dua jenis yaitu sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Konsentrasi larutan sodium hidroksida (SH) sebesar 14 M. Perekat geopolimer dibuat dengan 3 variasi prekursor dan aktivator (P/A) yaitu 70%:30%; 75%:25%; 80%:20%. Sedangkan rasio aktivator sodium silikat dan sodium hidroksida (SS/SH) sebesar 1:1; 1,5:1; 2:1 (Tabel 2).



Gambar 1. Serbuk batu pipih Umeanyar

Tabel 1. XRF Serbuk batu pipih Umeanyar

Senyawa	Persentase (%)
Al_2O_3	11,00
SiO_2	49,00
K_2O	3,37
CaO	11,20
TiO_2	2,06
V_2O_5	0,03
MnO	0,55

Fe ₂ O ₃	22,35
CuO	0,14
ZnO	0,04
Rb ₂ O	0,04
SrO	0,17
ZrO ₂	0,12
BaO	0,20
Re ₂ O ₇	0,04

Uji Porositas

Porositas adalah ukuran banyaknya ruang kosong dalam bahan tertentu dan dalam hal ini adalah perekat geopolimer. Uji porositas didefinisikan sebagai perbedaan berat antara berat spesimen yang telah direndam di bawah air setelah dipanaskan dengan berat spesimen yang sama ketika kering, dinyatakan dalam berat kering spesimen. Untuk menentukan nilai porositas menggunakan rumus pada persamaan 1 (ASTMC642-06 2008)

$$P = \frac{C-A}{C-D} \times 100\% \quad (1)$$

dengan :

- P = total porositas (%)
- A = berat kering oven benda uji (gr)
- C = berat benda uji jenuh air setelah dididihkan (gr)
- D = berat benda uji di dalam air (gr)

Perekat geopolimer

Perekat geopolimer dibuat dengan mencampurkan alkalin aktivator sodium hidroksida 14 M yang telah didiamkan 24 jam sebelumnya dengan larutan sodium silikat sesuai ratio yang terdapat pada Tabel 2. Prekursor serbuk batu pipih dimasukkan ke dalam mangkok mixer ukuran 3-liter. Putar dengan kecepatan rendah selama 15 detik, lalu masukkan alkalin aktivator dan putar mixer kembali dengan kecepatan sedang selama 30 detik dan ratakan. Setelah tercampur merata, siapkan cetakan silinder dengan ukuran diameter 25 mm dan tinggi 50 mm (Gambar 3). Setelah dicetak ke dalam mould, dibungkus rapat dengan plastik kedap udara selama 24 jam. Setelah didiamkan selama 24 jam, benda uji kubus dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 70°C selama 24 jam. Setelah dikeluarkan dari oven, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Masing-masing variasi dibuat 3 benda uji dengan 3 kali ulangan. Pengujian porositas berdasarkan ASTM C-642 (ASTMC642-06 2008).

Tabel 2. Variasi sampel perekat geopolimer

Kelompok	Kode	P/A	Ratio SS/SH
1	Y11	70%:30%	1:1
	Y12	70%:30%	1,5:1
	Y13	70%:30%	2:1

	Y21	75%:25%	1:1
	Y22	75%:25%	1,5:1
2	Y23	75%:25%	2:1
	Y31	80%:20%	1:1
3	Y32	80%:20%	1,5:1
	Y33	80%:20%	2:1



Gambar 2. Proses pencampuran geopolimer perekat geopolimer



Gambar 3. Perawatan perekat geopolimer

HASIL DAN DISKUSI

Uji porositas dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari. Hasil uji porositas sampel perekat geopolimer terdapat pada Tabel 3 dan Gambar 4-6. Tabel 3 menunjukkan hasil uji porositas pada masing-masing kelompok perekat geopolimer berbahan dasar serbuk batu pipih Umeanyar. Adanya penurunan nilai porositas benda uji saat berumur 28 hari. Ketika benda uji masih berumur 7 hari, cenderung memiliki nilai porositas yang lebih tinggi dari benda uji yang berumur 28 hari.

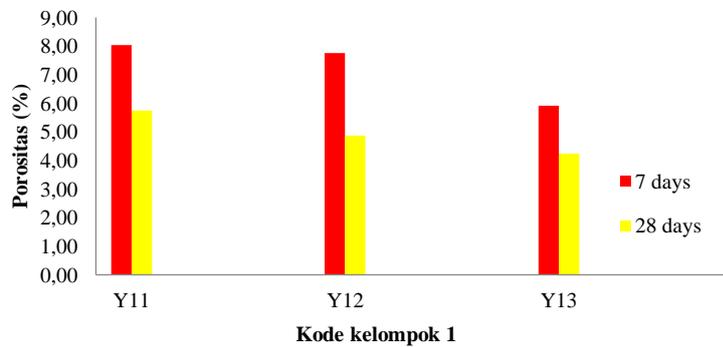
Penurunan nilai porositas juga terjadi apabila rasio alkalin aktivator (SS/SH) meningkat. Benda uji dengan rasio SS/SH sebesar 2:1 memiliki nilai porositas yang lebih rendah dibandingkan dengan benda uji dengan nilai rasio SS/SH sebesar 1:1. Sedangkan untuk benda uji yang memiliki rasio P/A sebesar 70%:30% cenderung memiliki nilai porositas yang lebih tinggi daripada benda uji dengan rasio P/A 80%:20%. Rata-rata benda uji dengan rasio P/A sebesar 80%:20% dan rasio SS/SH sebesar 2:1 memiliki nilai porositas paling rendah pada umur 28 hari.

KoNTekS17

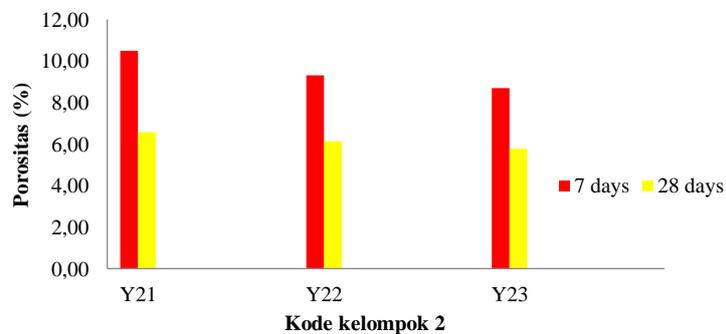
Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

Tabel 3. Porositas perekat geopolimer pada umur 7 dan 28 hari

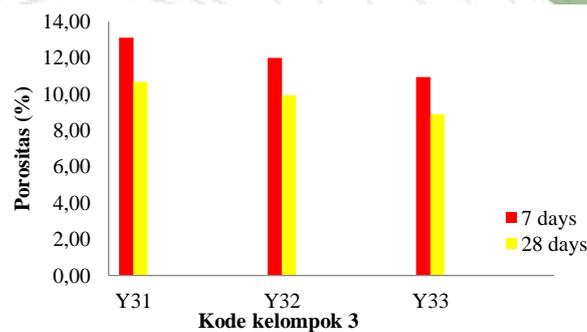
Kelompok	Kode	Porositas (%)	Porositas (%)
		7days	28 days
1	Y11	8,04	5,74
	Y12	7,76	4,48
	Y13	5,91	4,24
2	Y21	10,49	6,57
	Y22	9,31	6,14
	Y23	8,70	5,78
3	Y31	13,11	10,69
	Y32	11,99	9,96
	Y33	10,94	8,88



Gambar 4. Hasil uji porositas kelompok 1



Gambar 5. Hasil uji porositas kelompok 2



Gambar 6. Hasil uji porositas kelompok 3

Pada kelompok 1 yang ditunjukkan pada Gambar 4, memberikan hasil persentase porositas terendah terdapat pada sampel benda uji Y13 (7 hari) sebesar 5,91% dan 4,24% pada umur 28 hari. Rata-rata penurunan porositas sebesar 31% pada saat benda uji berumur 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perekat geopolimer mengalami pengurangan jumlah pori seiring dengan peningkatan umur benda uji. Benda uji Y13 memiliki kandungan aktivator sodium silikat tertinggi yang dapat mempercepat terjadinya ikatan polimerisasi. Sehingga pada saat benda uji berumur 28 hari, ukuran pori semakin mengecil dan dapat menurunkan jumlah pori pada sampel penelitian tersebut.

Grafik hasil uji porositas pada kelompok 2 ditunjukkan pada Gambar 5. Pada umur 28 hari, rata-rata penurunan porositas sebesar 35%. Persentase porositas terendah terjadi pada rasio SS/SH tertinggi yaitu pada benda uji Y23. Hal ini menunjukkan bahwa persentase jumlah pori menurun seiring dengan peningkatan umur benda uji dan rasio SS/SH. Pada saat benda uji berumur 7 hari, hasil uji porositas sebesar 8,70% dan menurun hingga mencapai 5,78% di umur 28 hari. Sedangkan benda uji kode Y21 tingkat porositas tertinggi sebesar 6,57% dengan rasio aktivator SS/SH terendah. Hal ini menunjukkan rasio aktivator yang semakin meningkat, dapat menurunkan nilai porositas pada perekat geopolimer.

Penurunan nilai porositas juga terjadi pada kelompok 3 (Gambar 6). Pada umur 7 hari, nilai porositas tertinggi sebesar 13,11% dan menurun hingga 10,69% di umur 28 hari. Sedangkan pada benda uji Y33 memiliki nilai porositas terendah sebesar 10,94% pada umur 7 hari dan menurun hingga 8,88% pada umur 28 hari. Nilai porositas menurun seiring dengan peningkatan umur benda uji dan rasio aktivator. Tingginya kandungan sodium silikat dalam larutan dapat mempercepat ikatan geopolimerisasi. Penambahan air pada campuran dapat juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai porositas, hal ini juga telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya (Singh 2018).

Dari hasil uji porositas yang telah dilakukan pada umur 7 dan 28 hari memberikan hasil porositas cenderung menurun. Nilai porositas pada masing-masing kelompok juga mengalami penurunan apabila rasio SS/SH meningkat dan rasio P/A menurun. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai porositas perekat geopolimer. Dalam penelitian ini, ada faktor rasio prekursor dan aktivator (P/A), rasio alkalin aktivator (SS/SH). Selain itu ada penambahan air sebesar 11% pada masing-masing kelompok berdasarkan berat prekursor. Rasio P/A tertinggi yaitu 80%/20% dan penambahan air sebesar 11% (57,2 g) memberikan hasil nilai porositas terendah pada umur 7 dan 28 hari. Sedangkan rasio P/A terendah yaitu 70%/30% dan rasio SS/SH tertinggi memiliki nilai porositas terendah. Penambahan air pada kelompok 1 ini juga diberikan sebesar 11% (50,05 g) dari berat perekat. Porositas yang terjadi disebabkan oleh air yang dikeluarkan pada proses geopolimerisasi yang dapat mempengaruhi sifat fisik perekat. Jumlah ion hidroksil yang disuplai oleh tambahan air (H₂O) dan ion logam alkali yaitu Na yang ada dalam larutan aktivator dapat mempercepat aktivasi alkali. Dampak dari keadaan ini adalah dapat membentuk lebih banyak gel sehingga dapat menciptakan atriks dengan ikatan antar partikel yang kuat dan dapat mengurangi porositas. Jadi semakin tinggi rasio aktivator SS/SH, maka nilai porositas pada perekat geopolimer serbuk batu pipih menurun.

KESIMPULAN

Komposisi prekursor dan aktivator (P/A) dan rasio alkalin aktivator (SS/SH) dapat mempengaruhi persentase porositas pada perekat geopolimer. Nilai porositas benda uji saat umur 28 hari sebesar 4,24 %, sedangkan pada umur 7 hari sebesar 5,91%. Hasil uji porositas pada umur 28 hari memiliki nilai yang lebih rendah dari benda uji dengan umur 7 hari. Semakin lama umur pengujian, nilai porositas yang dihasilkan semakin kecil. Variasi P/A sebesar 70%/30% memiliki nilai porositas terendah sebesar 4,24% dengan rasio aktivator 2:1. Sedangkan nilai porositas tertinggi sebesar 10,69% ada pada benda uji dengan variasi P/A sebesar 80%/20% dan SS/SH sebesar 1:1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi variasi P/A menghasilkan nilai porositas yang semakin besar, sedangkan variasi SS/SH semakin tinggi menghasilkan nilai porositas yang semakin kecil. Hal ini menunjukkan perekat geopolimer dengan larutan sodium silikat yang tinggi memiliki peranan dalam mempercepat reaksi polimerisasi, sehingga dapat mengurangi persentase pori pada masing-masing benda uji tersebut. Sedangkan kelompok dengan rasio P/A tertinggi memiliki nilai porositas yang besar juga, karena proses geopolimerisasi yang kurang sempurna pada perekat geopolimer serbuk batu pipih.

DAFTAR PUSTAKA

- Astariani, Ni Kadek, I. Made Alit Karyawan Salain, I. Nyoman Sutarja, and Ida Bagus Rai Widiarsa. 2021. "Mechanical Properties and Microstructure of Geopolymer Binder Based on Umeanyar Slatestone Powder." *Civil Engineering and Architecture* 9 (6): 1698–1716. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090604>.
- ASTMC642-06. 2008. "ASTM C 642." In *Standar Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, 11–13.
- Davidovits, Joseph. 1994. "Properties of Geopolymer Cements." *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, no. October 1994: 131–49.
- . 2008. *Geopolymer Chemistry and Applications 3 Rd Edition*.
- Doğan-Sağlantı, N., H. Oznuroz, A. Bilgil, T. Vural, and E. Süzgeç. 2019. "The Effect of Alkali Activation Solutions with Different Water Glass/NaOH Solution Ratios on Geopolymer Composite Materials." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 660 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/660/1/012003>.
- Ellis, Leah D., Andres F. Badel, Miki L. Chiang, Richard J.-Y. Park, and Yet-Ming Chiang. 2019. "Toward Electrochemical Synthesis of Cement—An Electrolyzer-Based Process for Decarbonating CaCO₃ While Producing Useful Gas Streams." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201821673. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821673116>.
- Farhana, Z. F., H. Kamarudin, Azmi Rahmat, and A. M. Mustafa Al Bakri. 2014. "A Study on Relationship between Porosity and Compressive Strength for Geopolymer Paste." *Key Engineering Materials* 594–595 (November): 1112–16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.1112>.
- Farhana, Z. F., H. Kamarudin, Azmi Rahmat, and A. M. Mustafa Al Bakri. 2015. "The Relationship between Water Absorption and Porosity for Geopolymer Paste." *Materials Science Forum* 803: 166–72. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.166>.
- Firdaus, Rosidawani, and I. Yunus. 2019. "The Effects of Fineness Level of Fly Ash and Accelerator on the Setting Time and the Compressive Strength of Geopolymer Mortar." *Journal of Physics: Conference Series* 1376 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1376/1/012008>.
- Miryuk, O. A. 2019. "The Effect of Waste on the Formation of Cement Clinker." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 510 (1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/510/1/012012>.
- Risdanareni, Puput, Januarti Jaya Ekaputri, and Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah. 2015. "Effect of Alkaline Activator Ratio to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete with Trass as Filler." *Applied Mechanics and Materials* 754–755 (April): 406–12. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.406>.
- Singh, Nakshatra B. 2018. "Fly Ash-Based Geopolymer Binder: A Future Construction Material." *Minerals* 8 (7). <https://doi.org/10.3390/min8070299>.



Tokheim, Lars-André, Anette Mathisen, Lars Øi, Chameera Jayarathna, Nils Eldrup, and Tor Gautestad. 2019. "Combined Calcination and CO₂ Capture in Cement Clinker Production by Use of Electrical Energy." *Trondheim CCS Conference*, no. February 2020: 1–10.

Venkata, P, Avanthi Sailalasa, and M Srinivasula Reddy. 2013. "A Study on Granite Saw Dust & Fly Ash Blended Geopolymer Concrete Behavior with Various NaOH Molarities." *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Index Copernicus Value Impact Factor 14 (9): 2319–7064.*