



Pengaruh Perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH (0,5-1,5) pada Kadar Aktivator 0,43 terhadap *Toughness* Beton Geopolimer

Muhammad Hayyu 'Alam
Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Alamat: Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta, Indonesia
Korespondensi penulis: hayyumuhammad7@gmail.com

Abstract. Concrete typically consists of coarse aggregate, fine aggregate, cement, and water. However, cement production generates significant carbon dioxide emissions nearly equivalent to the tons of cement produced. One alternative to conventional concrete, which replaces cement as a binder, is geopolymer concrete. Geopolymer concrete utilizes fly ash or other materials containing silica and alumina as the binder. Unlike cement, which forms a binder through hydration, geopolymer concrete uses a chemical reaction with alkali activators such as Na_2SiO_3 (sodium silicate) and NaOH (sodium hydroxide). This study investigates the toughness of geopolymer concrete using cylindrical specimens measuring 15 cm x 30 cm with varying Na_2SiO_3 to NaOH ratios of 1:0.5, 1:1, and 1:1.5, cured at room temperature for 28 days. The study results show that the highest toughness was achieved with a sodium silicate to sodium hydroxide ratio of 1.5, yielding $2.7394 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Meanwhile, the toughness values for sodium silicate to sodium hydroxide ratios of 0.5 and 1.0 were $2.3748 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ and $2.5821 \times 10^5 \text{ J/m}^3$, respectively. Thus, increasing the sodium silicate to sodium hydroxide ratio from 0.5 to 1.5 at an activator content of 0.43 affects the toughness of geopolymer concrete.

Keywords: toughness; fly ash; geopolymer; concrete

Abstrak. Beton umumnya tersusun dari campuran agregat (agregat kasar dan agregat halus), bahan pengikat (semen) dan air. Akan tetapi, produksi semen menghasilkan emisi karbon dioksida yang besar, bahkan sebanding dengan jumlah ton semen yang diproduksi. Salah satu alternatif beton yang menggantikan peran semen sebagai pengikat yaitu beton geopolimer. Beton geopolimer memanfaatkan abu terbang (*fly ash*) atau bahan lain yang memiliki kandungan silika dan alumina sebagai *binder*. Berbeda dengan semen yang membentuk pengikat melalui reaksi hidrasi, pengikat pada beton geopolimer terbentuk melalui reaksi kimia yang melibatkan alkali aktivator. Alkali aktivator yang digunakan adalah Na_2SiO_3 (sodium silikat) dan NaOH (sodium hidroksida). Pada penelitian ini diselidiki *toughness* beton geopolimer pada sejumlah benda uji beton geopolimer berbentuk silinder 15 cm x 30 cm dengan variasi perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH 1:0,5; 1:1; dan 1:1,5 menggunakan *curing* suhu ruang pada umur 28 hari. Hasil studi menunjukkan *toughness* tertinggi diperoleh beton geopolimer dengan rasio sodium silikat dan sodium hidroksida 1,5 sebesar $2,7394 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Sedangkan pada rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida 0,5 dan 1,0 didapatkan hasil *toughness* berturut-turut $2,3748 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ dan $2,5821 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Dengan demikian, peningkatan rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida 0,5-1,5 pada kadar aktivator 0,43 berpengaruh terhadap *toughness* beton geopolimer.

Kata kunci: toughness; fly ash; geopolimer; beton

1. LATAR BELAKANG

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Namun, produksi semen Portland yang menjadi bahan utama beton konvensional menghasilkan emisi karbon yang signifikan dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah beton geopolimer.

Beton geopolimer merupakan material komposit yang dihasilkan dari reaksi kimia antara sumber silika aluminium (seperti *fly ash* atau *slag*) dengan larutan alkali (biasanya NaOH dan Na_2SiO_3). Beton geopolimer memiliki potensi untuk menggantikan beton konvensional karena memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah lingkungan.

Sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) merupakan komponen kunci dalam larutan alkali yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer. Na_2SiO_3 berperan sebagai sumber silika yang menyediakan unit struktural untuk pembentukan gel geopolimer, sedangkan NaOH berfungsi sebagai aktivator yang mengaktifkan reaksi geopolimerisasi. Perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH dalam larutan alkali akan sangat mempengaruhi sifat-sifat beton geopolimer yang dihasilkan.

Toughness atau ketangguhan adalah kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum mengalami kerusakan. Sifat ini sangat penting bagi material konstruksi, terutama untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban impak atau beban dinamis.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH pada kadar aktivator 0,43 terhadap *toughness* beton geopolimer. Variasi perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dalam rentang 0,5-1,5 akan diteliti untuk mengetahui perbandingan optimal yang menghasilkan *toughness* tertinggi.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan beton geopolimer sebagai alternatif material konstruksi yang lebih berkelanjutan. Dengan memahami pengaruh perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH terhadap *toughness*, dapat dihasilkan beton geopolimer dengan sifat mekanik yang optimal untuk aplikasi-aplikasi tertentu.

2. KAJIAN TEORITIS

Proses pembentukan bahan pengikat dalam beton geopolimer melalui reaksi polimerisasi dan bukan reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional. Menurut (Davidovits, 1991) proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral Si – Al sehingga menghasilkan rantai polimerik tiga – dimensi dan ikatan struktur Si – O – Al – O yang konsisten. Sodium hidroksida yang digunakan sebagai *alkaline (activator)*, berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung pada abu terbang dan kapur sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Tambingon dkk., 2018).

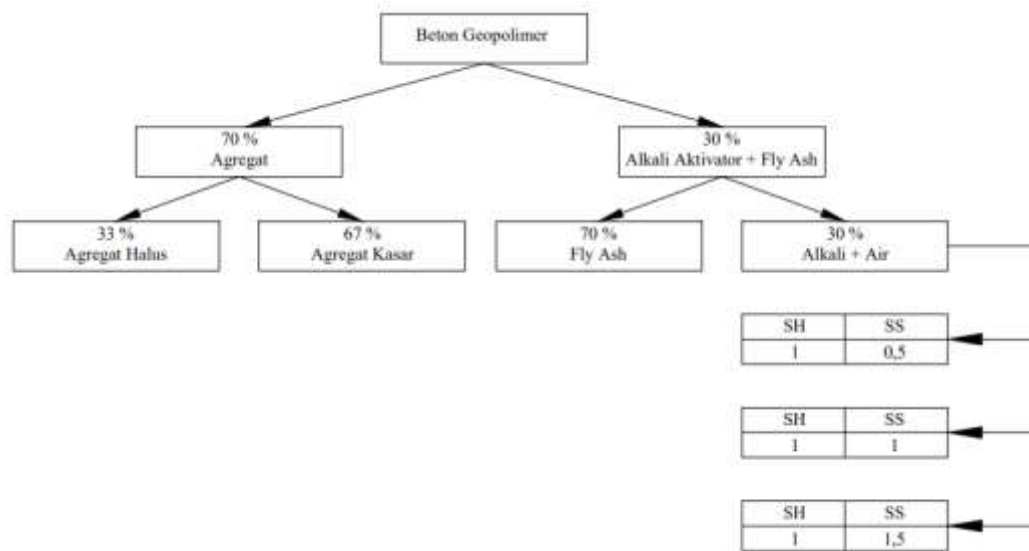
(Ekaputri dkk., 2007) dalam penelitiannya menguji pengaruh rasio sodium silikat dan sodium hidroksida terhadap kuat tekan. Hasil penelitian menemukan kuat tekan beton geopolimer meningkat dari rasio sodium silikat dan sodium hidroksida 0,5 sampai 1,5 dan setelahnya mengalami penurunan.

Toughness merupakan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan material sepenuhnya. Material dengan nilai *toughness* yang tinggi mempunyai keseimbangan yang baik antara keuletan (*ductility*) dan kekuatan (*strength*). Berdasarkan tinjauan mengenai rasio

sodium silikat (SS) dan sodium hidroksida (SH), dapat diprediksi *toughness* beton geopolimer akan meningkat dari rasio SS/SH 0,5 hingga 1,5.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Sebelas Maret dengan metode eksperimen. Abu terbang (*fly ash*) yang digunakan adalah tipe f dan molaritas NaOH sebesar 10 M. Variasi perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH diatur dalam tiga variasi, mulai dari 0,5 hingga 1,5 dengan interval 0,5. Campuran beton geopolimer dicetak dalam *mould* silinder 15 cm x 30 cm dan dilakukan perawatan menggunakan suhu ruang sebelum dilakukan pengujian ketangguhan pada umur 28 hari. Hasil pengujian akan dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh signifikansi dari variasi perbandingan sodium silikat dan sodium hidroksida terhadap nilai ketangguhan (*toughness*) beton geopolimer. Komposisi (*mix design*) ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Komposisi beton geopolimer

Pengujian *Toughness*

Toughness merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kegagalan. Nilai *toughness* dihitung dari luas area di bawah grafik tegangan-regangan menggunakan rumus integral persamaan regresi yang didapat dari grafik tersebut. Grafik tegangan-regangan didapat dengan mengaitkan penambahan beban (*load*) secara bertahap oleh *Compression Testing Machine* (CTM) dengan *displacement* yang diukur menggunakan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT). Selanjutnya rumus perhitungan nilai *toughness* disajikan pada Persamaan 1 berikut.

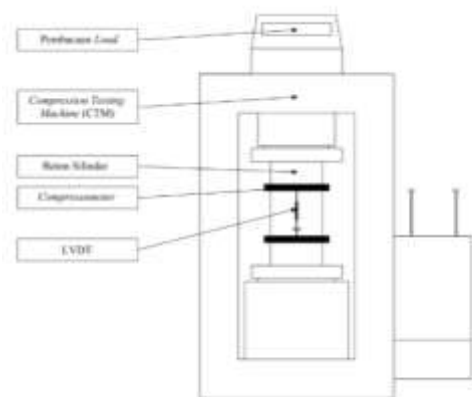
$$Toughness = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

dengan:

F(x) = persamaan regresi dari grafik tegangan-regangan

a = regangan awal sebelum pembebanan

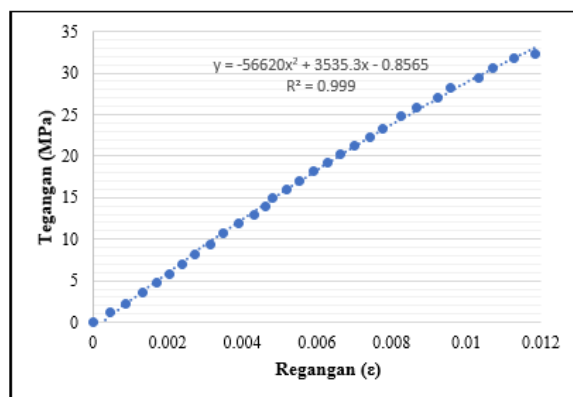
b = regangan maksimum



Gambar 2. Ilustrasi set up *Compression Testing Machine* untuk pengujian toughness

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran perubahan panjang dicatat setiap kenaikan beban kurang lebih 20 kN pada *Compression Testing Machine*. Salah satu hasil pengujian beton geopolimer benda uji ke-4 0,43 GPC-0,5 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik tegangan-regangan benda uji 4 0,43GPC-0,5

Dari grafik pada Gambar 3, diperoleh persamaan $y = -56620x^2 + 3535,3x - 0,8565$ dan regangan maksimum = 0,119 maka:

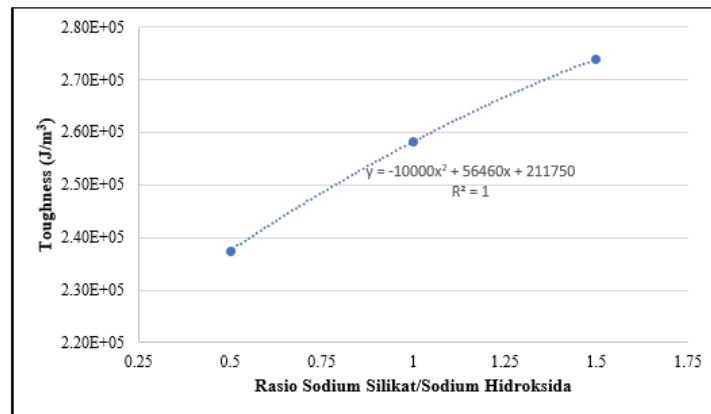
$$\begin{aligned} Toughness &= \int_0^{0,0119} -56620x^2 + 3535,3x - 0,8565 dx \\ &= [-18873,33x^3 + 1767,65x^2 - 0,8565x]_0^{0,0119} \\ &= 0,2071 \text{ mJ/mm}^3 \\ &= 2,0711 \times 10^5 \text{ J/m}^3 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *toughness* sebesar $2,0711 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Selanjutnya rekapitulasi perhitungan *toughness* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi analisis perhitungan *toughness*

Benda Uji	Persamaan	Regangan Max	<i>Toughness</i> (J/m^3)	Rata-rata <i>Toughness</i>
0,43GPC-0,5	$y = -91573x^2 + 3928x + 1,8398$	0,0115	$2,3447 \times 10^5$	$2,3748 \times 10^5$
	$y = -137708x^2 + 4459,7x + 2,7626$	0,0103	$2,1548 \times 10^5$	
	$y = -134261x^2 + 4391,5x - 0,5793$	0,0140	$2,9945 \times 10^5$	
	$y = -56620x^2 + 3535,3x - 0,8565$	0,0119	$2,0711 \times 10^5$	
0,43GPC-1,0	$y = -66505x^2 + 3518,4x - 0,4201$	0,0126	$2,3087 \times 10^5$	$2,5821 \times 10^5$
	$y = -171454x^2 + 4417,7x - 0,7122$	0,0124	$2,2083 \times 10^5$	
	$y = -113993x^2 + 4136,3x + 0,0913$	0,0137	$2,9107 \times 10^5$	
	$y = 7142,4x^2 + 3064,8x - 1,8239$	0,0147	$3,1309 \times 10^5$	
	$y = 396347x^2 + 1235,6x + 0,9529$	0,0072	$0,7396 \times 10^5$	
0,43GPC-1,5	$y = -83409x^2 + 3998,4x - 1,4253$	0,0164	$3,9207 \times 10^5$	$2,7394 \times 10^5$
	$y = -89864x^2 + 4616,3x - 0,9598$	0,0146	$3,8434 \times 10^5$	
	$y = -72914x^2 + 2800,1x + 0,7647$	0,0174	$2,2310 \times 10^5$	
	$y = -69012x^2 + 4301,6x - 0,7086$	0,0125	$2,8420 \times 10^5$	
	$y = -122664x^2 + 5373,2x + 0,7411$	0,0118	$3,1436 \times 10^5$	
	$y = -7955,8x^2 + 5037,6x - 0,7139$	0,0080	$1,6372 \times 10^5$	

Berdasarkan Tabel 1, didapatkan grafik hubungan antara perbandingan Na_2SiO_3 terhadap NaOH dan *toughness* yang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 4. Hubungan perbandingan SS/SH dengan nilai *toughness* beton geopolimer

Berdasarkan Gambar 4, terjadi peningkatan nilai *toughness* seiring dengan penambahan rasio SS/SH. Nilai *toughness* menunjukkan kemampuan beton menahan retak dan kerusakan yang disebabkan oleh penambahan tekanan. Selain itu, nilai *toughness* juga mempengaruhi seberapa lama beton dapat bertahan. Pada rasio SS/SH 0,5-1,5 didapatkan nilai *toughness* tertinggi pada rasio SS/SH 1,5 dengan *toughness* sebesar $2,7394 \times 10^5 \text{ J/m}^3$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Peningkatan rasio SS/SH 0,5-1,5 terhadap *toughness* beton geopolimer menunjukkan adanya korelasi positif. Nilai *toughness* beton geopolimer dengan rasio SS/SH 0,5; 1,0; dan 1,5 masing-masing adalah $2,3748 \times 10^5 \text{ J/m}^3$; $2,5821 \times 10^5 \text{ J/m}^3$; dan $2,7394 \times 10^5 \text{ J/m}^3$. Penelitian lanjutan perlu dilakukan pada beton geopolimer dengan rasio SS/SH yang lebih tinggi untuk menentukan nilai *toughness* optimum pada kadar aktivator 0,43.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmed, H. U., Mohammed, A. A., Rafiq, S., Mohammed, A. S., Mosavi, A., Sor, N. H., & Qaidi, S. M. A. (2021). Compressive strength of sustainable geopolymer concrete composites: A state-of-the-art review. *Sustainability*, *13*, 13502.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis*, *37*, 1633-1656.
- Davidovits, J. (1994). Global warming impact on the cement and aggregates industries. *Geopolymer Institute*, *6*, 263-278.
- Davidovits, J. (2013). Geopolymer cement. *Geopolymer Institute*, *0*, 1-11.
- Dony, W., & Das, A. M. (2019). Studi mikrostruktur mortar geopolimer abu sawit dengan variasi rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH . *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *19*(1), 132-138.
- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). Sodium sebagai aktivator fly ash, trass dan lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, *20*, 1-10.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, T., & Damayanti. (2007). Sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash Jawa Power Paiton sebagai material alternatif. *Jurnal PONDASI*, *13*, 124-139.
- Gandina, N. L., & Setiyarto, Y. D. (2020). Studi eksperimental beton geopolimer dengan memanfaatkan fly ash sebagai pengganti semen dan serat MAT sebagai aditif. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, *1*, 26-36.
- Hardjito, D., & Rangan, B. V. (2005). *Development and properties of low calcium fly ash-based geopolymer concrete* (Research Report GC 1).
- Honny, M. B., Thiofilus, J. W., Hardjito, D., & Antoni. (2019). Pengaruh metode pembuatan dan komposisi alkali aktivator terhadap karakteristik beton geopolimer berbahan dasar fly ash tipe C. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, *8*, 236-242.

- Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik belah dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 3(10), 703-708.
- Kumar Mehta, P. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete International*, 23, 61-66.
- Miftahul, R., Wiswamitra, K. A., & Nurtanto, D. (2022). Perbandingan metode pembuatan beton geopolymer terhadap sifat mekanik dan porositas. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 8, 136-147.
- Panjaitan, P. E., & Herlina, L. (2020). Review faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kuat tekan beton geopolimer. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 3, 65-79.
- Pavithra, P., Reddy, M. S., Dinakar, P., Rao, B. H., Satpathy, B. K., & Mohanty, A. N. (2016). A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133(May), 117-125.
- Roylance, D. (2001). *Mechanics of materials*. Massachusetts Institute of Technology.
- Rozi, M. F., Tarigan, J., & Ahmad Perwira. (2020). Analisis sifat mekanik beton geopolymer berbahan dasar fly ash PLTU Pangkalan Susu. *Jurnal Health Sains*, 1, 567-579.
- Salain, I. M. A. K., Wirayasa, M. N. A., & Pamungkas, I. N. M. A. (2020). Kuat tekan beton geopolimer menggunakan abu terbang. *Jurnal Spektran*, 8, 105-114.
- Ulya, M., Zainuddin, Z., & Santoso, T. B. (2023). Studi eksperimental kuat tekan beton geopolimer berbasis fly ash dengan Na_2SO_4 dan Na_2SiO_3 sebagai aktivator. *SINTESE*, 1, 234-243.