



PENGARUH PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER

Titis Adhaini

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Jl. Amal Lama No. 1

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

e-mail: titisadhaini33@gmail.com

ABSTRACT: Coal is extensively used as fuel by industries and steam power plants in Indonesia, generating pollutants such as fly ash during combustion. Fly ash contains active silica and alumina compounds, and one way to mitigate the environmental impact of fly ash is by using it as a partial substitute for cement in geopolymer concrete. This study aimed to determine the effect of adding superplasticizer additives strength of geopolymer concrete and to obtain the value of increasing the compressive strength of geopolymer concrete. The experimental method was employed, using a mixture of coarse and fine aggregate, fly ash, alkali activators (Na_2SiO_3 and NaOH), and superplasticizer additives. Cube specimens measuring 15x15x15 cm were conducted at 28 days of age. Based on the study results, the percentage variations of superplasticizer (BG 0%, BG 0,5% BG 1%, and BG 1,5%) on geopolymer concrete showed no significant effect on the test specimens across the dependent variables. However, after being given superplasticizer additives, an increase of 1,17% was obtained between BG 0% and BG 0,5% and 0,38% between BG 1% and B 1,5%.

Keywords: Alkali Activator, Geopolymer Concrete, Fly Ash, Superplasticizer, Compressive Strength

ABSTRAK: Batubara sebagai bahan bakar banyak digunakan oleh Industri dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Indonesia dari pembakaran tersebut menghasilkan polutan berupa abu terbang atau fly ash. Abu terbang (*fly ash*) mengandung senyawa silika dan alumina aktif, salah satu usaha untuk mengurangi hasil limbah pembakaran tersebut yaitu dimanfaatkan sebagai pengganti semen pada beton geopolimer. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif superplasticizer terhadap beton geopolimer dan untuk mendapatkan nilai peningkatan kuat tekan beton geopolimer. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan bahan campuran utama agregat kasar dan halus, *fly ash*, alkali aktivator yaitu Na_2SiO_3 dan NaOH , dan juga zat aditif superplasticizer. Benda uji menggunakan kubus berukuran 15x15x15 cm dengan sampel sebanyak 10 buah untuk masing-masing variasi yang selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan pada saat umur beton 28 hari. Berdasarkan hasil dari penelitian dengan presentase variasi superplasticizer BG 0%, BG 0,5%, BG 1% dan BG 1,5% terhadap beton geopolimer yaitu pada benda uji tidak terdapat adanya pengaruh yang signifikan dengan masing-masing variabel terikat. Namun, setelah diberi zat aditif superplasticizer didapatkan peningkatan sebesar 1,17% antara BG 0% dan BG 0,5% serta 0,38% antara BG 1% dan BG 1,5%.

Kata kunci: Alkali Aktivator, Beton Geopolimer, *Fly Ash*, *Superplasticizer*, Kuat Tekan

1. PENDAHULUAN

Batubara memiliki peran penting di Indonesia berdasarkan data dari Badan Geologi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) produksi batubara dalam negeri pada tahun 2022 mencapai 685,49 juta ton jumlah tersebut meningkat dibandingkan tahun sebelumnya sebesar 610,03 juta ton (ESDM, 2022). Adanya batubara dengan produksi jumlah yang besar menjadikan sumber energi bagi Indonesia.

Batubara banyak digunakan oleh industri dan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai bahan bakar. Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *Bottom ash*), dimana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan sekitar 80-90% *fly ash* dari total abu yang dihasilkan (Oladokun, 2018).

Abu terbang (*fly ash*) merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan. Abu terbang (*fly ash*) secara kimia merupakan material oksida anorganik yang mengandung senyawa silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Sifat aktif dari komponen *fly ash* tersebut dapat bereaksi dengan komponen lain sekomposisinya untuk membentuk material baru (*mullite*) yang tahan terhadap suhu tinggi (Nugraha, 2003 dalam Pojoh dkk, 2021).

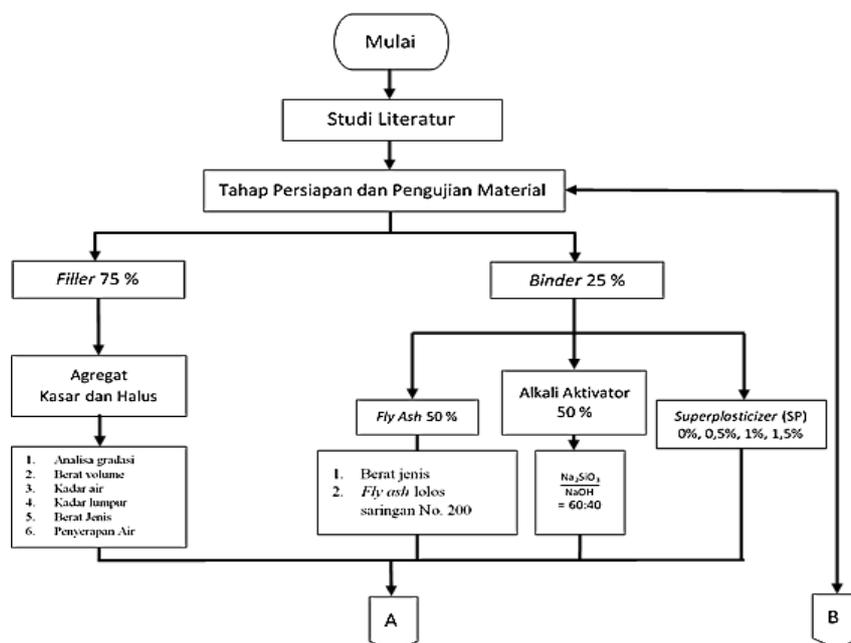
Menurut Davidovits, 2005 dalam Ekaputri (2011) beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti beton biasa. Oleh karena itu aktivator yang dipilih harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam *fly ash*. Selain itu, komposisi aktivator yang digunakan harus tepat sehingga bisa terjadi reaksi kimia yang bisa mengikat agregat pembentuk beton. Aktivator yang umum digunakan adalah sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) berkonsentrasi 8M sampai 14M dengan perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH diambil antara 0,4 sampai 2,5 (Hardjito, 2004 dalam Triwulan dkk, 2007).

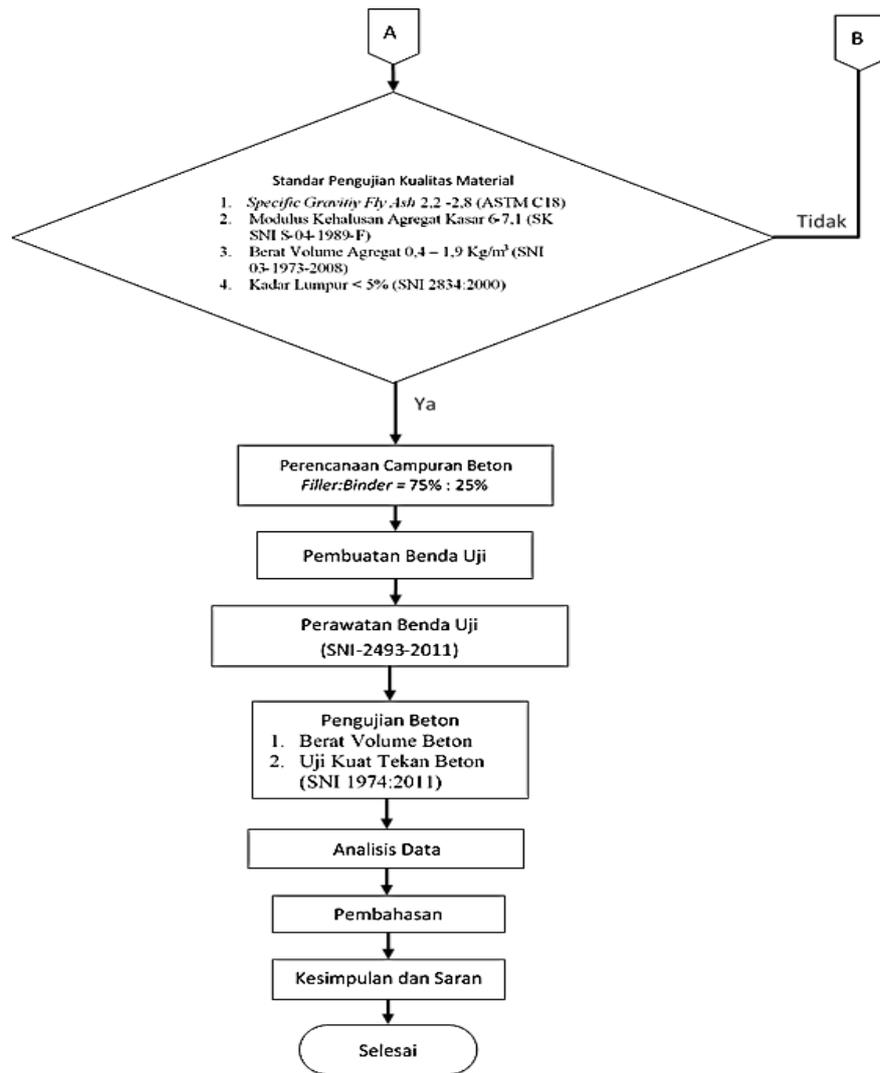
Pada proses pembuatan beton geopolimer adukan beton yang sangat kental dan cepat mengeras mempengaruhi kuat tekan pada beton sehingga bisa mengakibatkan porositas pada beton. Porositas beton merupakan nilai perbandingan volume pori (*Void*) terhadap volume total beton. Porositas diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar sehingga hasil kerapatan beton tidak maksimal (Mecha dkk, 2018). Sikament LN sebagai bahan aditif beton berfungsi sebagai campuran adukan beton untuk mengurangi keropos, memudahkan pengecoran dan mempercepat pengerasan beton (Sika, 2016).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memanfaatkan limbah pembakaran batubara yaitu abu terbang (*fly ash*) dari PLTU. Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor dengan tambahan SP, oleh karena itu dalam penelitian ini penulis membahas tentang "Pengaruh Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer".

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian





Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental pembuatan benda uji kubus yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Dalam penelitian ini digunakan data primer dengan cara percobaan benda uji dengan berbagai campuran dan data sekunder berupa literatur dari penelitian sebelumnya maupun referensi pada buku dan jurnal. Untuk mempermudah analisis dan mekanisme penelitian dibuat diagram alir metode penelitian.

2.2. Tahap Persiapan Bahan Uji

Persiapan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Abu terbang (*fly ash*).
2. Cairan alkali aktivator.
3. Agregat kasar.
4. Agregat halus.
5. *Superplasticizer* sikament LN.

2.3. Tahap Pengujian Kualitas Bahan

2.3.1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

1. Berat jenis abu terbang (*fly ash*).
2. Kehalusan Lolos Saringan No.200.

2.3.2. Alkali Aktivator

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode basah. Sehingga larutan NaOH dengan molaritas 10M dalam bentuk padat dicampur dengan air terlebih dahulu. Variasi kadar alkali aktivator pada setiap campuran beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ yaitu 60:40.

Dalam pembuatan larutan NaOH 10M ada beberapa peralatan dan bahan yang harus disiapkan. Peralatan yang digunakan adalah timbangan digital, gelas ukur dengan volume 1 liter dan pengaduk. Sedangkan bahan yang digunakan adalah air dan serpihan NaOH. Langkah yang digunakan dalam pembuatan larutan NaOH.

- NaOH yang diperlukan dihitung terlebih dahulu sesuai dengan rancangan.
 $M_r \text{ NaOH} = 40$ (*Penjumlahan Ar dari unsur-unsur penyusun senyawa yaitu, Na=23, O=16, H=1*)
 $\text{Massa NaOH} = n \text{ mol} \times M_r$
 $= 10 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol}$
 $= 400 \text{ gram}$

2.3.3. Agregat Kasar

1. Analisa Saringan Gradasi Agregat Kasar
2. Berat Volume Agregat Kasar
3. Kadar Air Agregat Kasar
4. Kadar Lumpur Agregat Kasar

2.3.4. Agregat Halus

1. Analisa Saringan Gradasi Agregat Kasar
2. Berat Volume Agregat Kasar
3. Kadar Air Agregat Kasar
4. Kadar Lumpur Agregat Kasar

2.3.5. Superplasticizer

Dalam penelitian ini digunakan *superplasticizer* sikament LN sebesar 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%, sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Berbeda pada penelitian sebelumnya tidak menggunakan bahan tambah *superplasticizer* (SP) sehingga beton yang dihasilkan berongga atau tidak rapat. Maka dari itu penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui karakteristik kuat tekan beton dengan menggunakan *superplasticizer* (SP).

2.4 Benda Uji, Peralatan, dan Bahan Penelitian

Adapun dimensi benda uji, peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti di bawah ini:

1. Cetakan Kubus 15x15x15 cm
2. Mesin Pengaduk Beton
3. Timbangan Digital
4. Tongkat Pemasak
5. *Compression Testing Machine* (CTM).
6. Cawan
7. Oven
8. Saringan Agregat
9. Mesin Penyaring Agregat (*Sieve Shaker Machine*)
10. Gelas Ukur.

2.5. Perawatan Benda Uji

Berdasarkan SNI 2493-2011, Perlakuan terhadap benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Penutupan setelah penyelesaian, yaitu benda uji ditutup dengan bahan yang tidak menyerap air, tidak reaktif dan dapat menjaga kelembapan sampai benda uji dikeluarkan dari cetakan.
2. Perawatan pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar penerimaan atau pengawas mutu;
3. Perawatan untuk menentukan saat pelepasan cetakan atau saat struktur boleh menerima beban. Pada benda uji struktur yang diwakilinya harus memperoleh perawatan yang sama:
 - a) Benda uji dilepas dari cetakan setelah 48 jam \pm 4 jam
 - b) Benda uji harus disimpan dalam air kapur pada suhu 23 °C \pm 1,7 °C selama 24 jam \pm 4 jam sebelum pengujian.

2.6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Metode Pengujian kuat tekan beton. Menggunakan cetakan kubus beton dengan ukuran 15x15x15 cm. Beton di uji pada umur 28 hari setelah masa pengecoran dan perawatan pada benda uji. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Siapkan sampel benda uji yang sudah mencapai umur 28 hari.
2. Sehari sebelum pengujian, benda uji dikeluarkan dari bak rendam
3. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dijemur atau diangin-anginkan untuk mengeringkan benda uji.
4. Timbang benda uji untuk mengetahui berat benda uji dalam keadaan kering.
5. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan, *Compression Testing Machine* (CTM).
6. Hidupkan mesin uji tekan, pembebanan dilakukan sampai benda uji tidak kuat menahan tekanan sehingga benda uji retak dan hancur.
7. Mencatat nilai yang ditunjukkan oleh mesin pengujian kuat tekan beton.
8. Kemudian benda uji diuji sampai pecah serta dilakukan peninjauan kekuatan tekan.

Menurut SNI 1974-2011 rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan beton dapat dilihat sebagai berikut;

$$\text{Kuat tekan beton } f'c = \frac{P}{A}$$

Dengan keterangan:

- $f'c$ adalah kuat tekan beton dengan benda uji dinyatakan dalam (Kg/cm²)
- P merupakan besar beban maksimum dinyatakan dalam (Kg)
- A adalah luas penampang benda uji dinyatakan dalam (cm²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Hasil Pengujian Material dan Bahan

Pengujian ini dilakukan agar dapat memenuhi persyaratan standar mutu dalam pekerjaan konstruksi bangunan. Pengujian dilakukan sebelum proses pengecoran pada benda uji, material dan bahan yang digunakan sesuai dengan SNI meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus dan abu terbang (*fly ash*).

3.3.1. Pengujian Agregat Halus

Tabel 1 Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Nilai	Satuan
Modulus Kehalusan	6,549	%
Berat Volume	1,345	Kg/m ³
Kadar Air	1,739	%
Kadar Lumpur	0,770	%
Berat Jenis	2,395	gr/cm ³
Penyerapan Air	0,828	%

3.3.2. Pengujian Agregat Kasar

Tabel 2 Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Nilai	Satuan
Modulus Kehalusan	2,376	%
Berat Volume	1,415	Kg/m ³
Kadar Air	2,749	%
Kadar Lumpur	3,930	%
Berat Jenis	2,580	gr/cm ³
Penyerapan Air	0,202	%

3.3.3. Pengujian Abu Terbang (*Fly ash*)

Tabel 3 Pengujian Abu Terbang (*FlyAsh*)

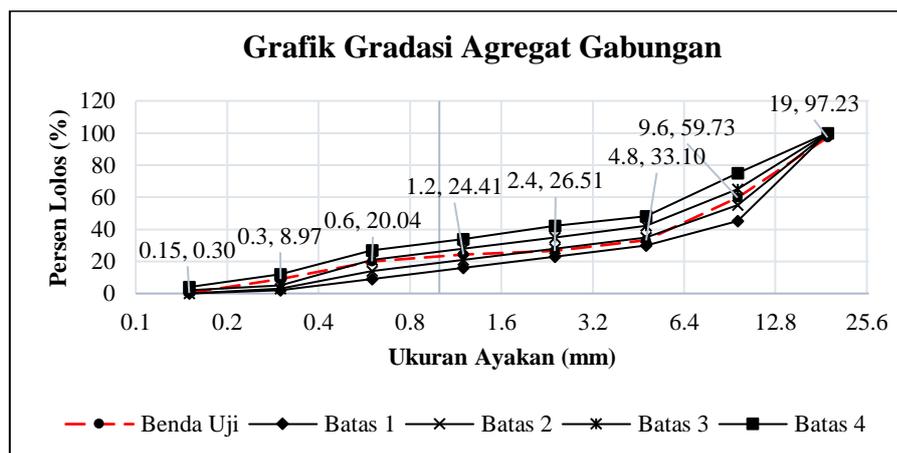
Jenis Pengujian	Nilai	Satuan
Berat Jenis	2,398	gr/cm ³
Kehalusan	74,385	%

3.2. Pengujian Analisis Gradasi Agregat Gabungan

Pengujian analisis gradasi gabungan pada agregat dilakukan untuk mengetahui penggunaan campuran agregat antara agregat kasar dan halus, dengan batas gradasi gabungan mengikuti pedoman SNI 03-2834-2000.

Tabel 4 Batas Gradasi Agregat Gabungan standar SNI 03-2834-2000

Diameter	Jumlah Lolos Agregat Halus	Jumlah Lolos Agregat Kasar	Persentase Agregat Halus	Persentase Agregat Kasar	Gradasi Gabungan
Mm	%	%	30 %	70 %	100 %
38	100,000	100,000	30,000	70,000	100,000
19	100,000	96,046	30,000	67,232	52,382
9,6	100,000	42,468	30,000	29,727	41,446
4,8	94,920	6,612	28,476	4,628	27,895
2,4	88,370	0,000	26,511	0,000	24,135
1,2	81,378	0,000	24,413	0,000	22,560
0,6	66,807	0,000	20,042	0,000	20,197
0,3	29,911	0,000	8,973	0,000	5,686
0,15	1,003	0,000	0,301	0,000	0,185



Gambar 1 Gradasi Agregat Gabungan max 20 mm

3.3. Perencanaan Campuran Beton

Pada penelitian ini proses pencampuran beton menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan berpedoman pada peneliti terdahulu. Studi eksperimental adalah beton geopolimer dimana perencanaan *mix design* menggunakan perbandingan massa pada bahan kimia dan perbedaan variasi setiap sampel agar dapat mengetahui kuat tekan beton yang dihasilkan.

3.4. Komposisi Campuran Beton

Hasil perhitungan komposisi pada beton kubus geopolimer 15x15x15 cm sebanyak 40 sampel dengan menggunakan empat variasi *superplasticizer* terhadap jumlah *fly ash* dan alkali aktivator pada variasi BG 0%, BG 0,5%, 1% dan BG 1,5%.

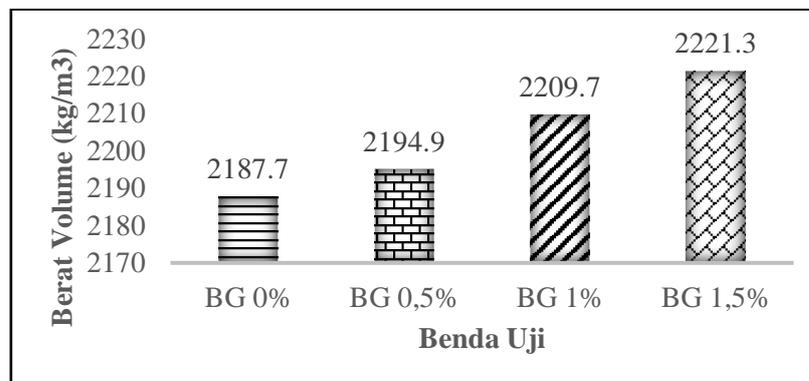
Tabel 5 Komposisi Bahan 1 Kubik (M³)

Beton	Fly Ash	Alkali Aktivator (60:40)		Aregat Kasar	Agregat Halus	SP
		Na ₂ SiO ₃	NaOH			
Kg						
0 %						0
0,5 %	300	180	120	1260	540	3
1 %						6
1,5 %						9

Tabel 6 Komposisi Bahan Per kubus

Beton	Fly Ash	Alkali Aktivator (60:40)		Aregat Kasar	Agregat Halus	SP
		Na ₂ SiO ₃	NaOH			
Kg						
0 %	1,013	0,608	0,405	4,253	1,823	0
0,5 %	1,013	0,608	0,405	4,253	1,823	0,010
1 %	1,013	0,608	0,405	4,253	1,823	0,020
1,5 %	1,013	0,608	0,405	4,253	1,823	0,030
Total	4,050	2,430	1,620	17,010	7,290	0,060

3.5. Berat Volume



Gambar 2 Berat Volume Beton Geopolimer

Dari gambar diatas diketahui rata-rata berat volume beton geopolimer yaitu pada beton normal atau *superplasticizer* BG 0% sebagai beton kontrol sebesar 2187,7 kg/cm³, *superplasticizer* BG 0,5% sebesar 2194,9 kg/cm³, *superplasticizer* BG 1% sebesar 2209,7 kg/cm³, dan *superplasticizer* BG 0% sebesar 2221,3 kg/cm³.

3.6. Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari sesuai dengan ketentuan perencanaan. Beton yang diuji adalah kubus dengan ukuran panjang 15 cm, tinggi 15 cm, dan lebar 15 cm. Total sampel yang diuji adalah 40 benda uji dengan empat variabel variasi *superplasticizer* terhadap jumlah abu terbang (*fly ash*) + aktivator yaitu 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%.

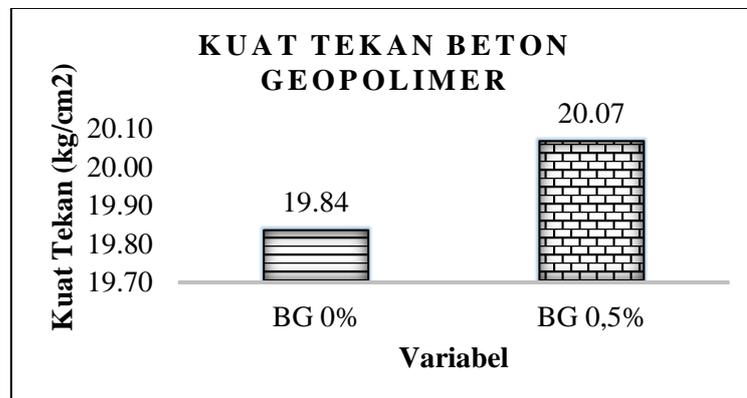


Gambar 3 Uji Kuat Tekan Beton Geopolimer

Tabel 7 Rata-rata Kuat Tekan Beton Beton Geopolimer

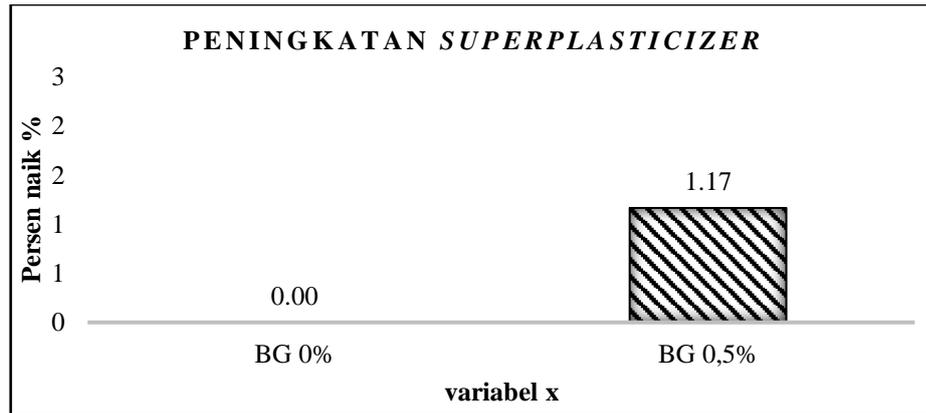
Variasi <i>Superplasticizer</i> (SP)	Rata-rata Kuat Tekan (Kg/cm ²)
BG 0%	19,84
BG 0,5%	20,07
BG 1%	22,92
BG 1,5%	23,01

3.6.1 Grafik Hasil Analisis Beton Geopolimer



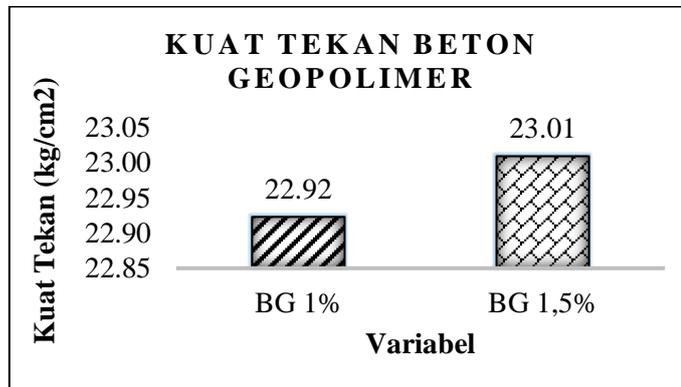
Gambar 4 Kuat Tekan Beton Geopolimer BG 0% dan BG 0,5%

Pada gambar.5 dapat dilihat bahwa variabel terikat *superplasticizer* BG 0% menghasilkan pengujian kuat tekan sebesar 19,84 kg/cm² sedangkan *superplasticizer* BG 0,5% menghasilkan pengujian kuat tekan sebesar 20,07 kg/cm².



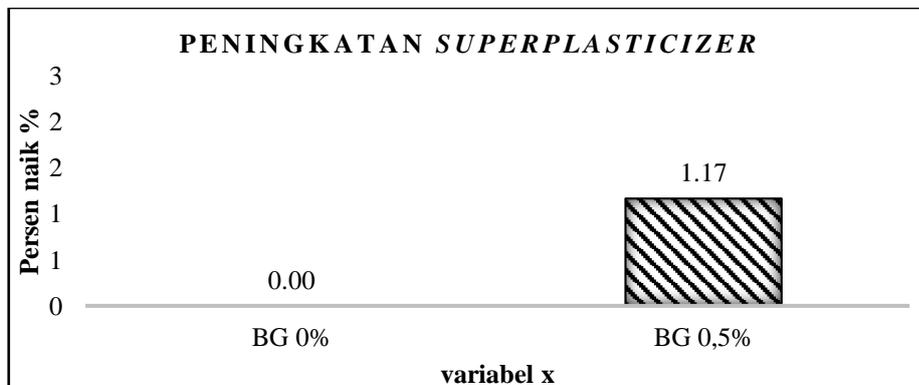
Gambar 5 Grafik Peningkatan Superplasticizer BG 0% dan BG 0,5%

Pada Gambar.6 diatas dapat dilihat bahwa terjadi persen peningkatan kuat tekan beton geopolimer dan di dapatkan hasil peningkatan beton geopolimer BG 0% dengan beton geopolimer BG 0,5% meningkat sebesar 1,17%.



Gambar 6 Kuat Tekan Beton Geopolimer BG 1% dan BG 1,5%

Pada Gambar.7 di atas dapat dilihat bahwa variabel terikat superplasticizer BG 1% menghasilkan pengujian kuat tekan sebesar 22,92 kg/cm² sedangkan superplasticizer BG 1,5% menghasilkan pengujian kuat tekan sebesar 23,01 kg/cm².



Gambar 7 Grafik Peningkatan Superplasticizer BG 0% dan BG 0,5%

Pada Gambar.8 terjadi persen peningkatan kuat tekan beton geopolimer dan di dapatkan hasil peningkatan beton geopolimer BG 1% dengan beton geopolimer BG 1,5% meningkat sebesar 0,38%.

3.7. Pembahasan

3.7.1 Beton Geopolimer BG 0% dengan 0,5%

Tabel 8 Hasil Perhitungan Peningkatan *Superplasticizer* (SP)

Variasi SP	Air	Peningkatan SP (%)
BG 0%	10 ml	0,00
BG 0,5%		1,17

Pada tabel.8 terlihat persen penggunaan *superplasticizer* BG 0% dan BG 0,5% dengan menggunakan air sebesar 10 ml persampel atau dengan total 100 ml dalam setiap satu variasi pada kuat tekan beton geopolimer mengalami peningkatan 1,17%.

3.7.2 Beton Geopolimer BG 1% dengan 1,5%

Tabel 9 Hasil Perhitungan Peningkatan *Superplasticizer* (SP)

Variasi SP	Air	Peningkatan SP (%)
BG 1%	6 ml	0,00
BG 1,5%		0,38

Pada tabel.9 terlihat persen penggunaan *superplasticizer* BG 0% dan BG 0,5% dengan menggunakan air sebesar 6 ml persampel atau dengan total 60 ml dalam setiap satu variasi pada kuat tekan beton geopolimer mengalami peningkatan 0,38%. Pengurangan jumlah air ini agar beton tidak mengalami segregasi dan *bleeding* yang semakin tinggi pada proses pencetakan.

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa penggunaan zat aditif *superplasticizer* (SP) tidak terdapat adanya pengaruh yang signifikan terhadap benda uji akan tetapi pada kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari setelah diberi zat aditif *superpalsticizer* menghasilkan peningkatan kuat tekan beton geopolimer sebesar 1,17% antara BG 0% dan 0,5% dan 0,38% antara beton 1% dan 1,5%. Dan setiap persen penambahan kadar *superplasticizer* (SP) kuat tekan yang dihasilkan juga bertambah yaitu pada benda uji beton geopolimer memberikan peningkatan terhadap kuat tekan geopolimer pada BG 0% sebesar 19,84 kg/cm², BG 0,5% sebesar 20,07 kg/cm², BG 1% sebesar 22,92 kg/cm² dan BG 1,5% sebesar 23,01 kg/cm².

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada uji kuat tekan beton geopolimer dengan penambahan zat aditif *superplasticizer* (SP) tidak terdapat adanya pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kuat tekan
- Besar peningkatan kuat tekan beton geopolimer pada umur beton 28 hari setelah ditambah zat aditif *superplasticizer* (SP) yaitu sebesar:
 - a. 1,17% antara beton geopolimer BG 0% dan BG 0,5%
 - b. 0,38% antara beton geopolimer BG 1% dan BG 1,5%

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Indonesia.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. SNI 2493-2011. Indonesia.

- Badan standarisasi Nasional Indonesia. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. SNI 1974-2011. Indonesia*
- Ekaputri, J. J. (2011). Geopolymer Concrete Using Fly Ash, Trass, Sidoarjo Mud Based Material. *Journal of Civil Engineering*, 31(2), 57–63.
- ESDM, M. (2022). *Realisasi Produksi & Penjualan Batubara*. Minerba One Map Indonesia. <https://modi.esdm.go.id/produksi-batubara>
- Mecha, C. S., Mulyono, T., & Prihantono, P. (2018). Pengaruh Penambahan Superplasticizer Dan Abu Batu Sebagai Filler Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton Normal. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 10–17. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v13i1.18919>
- Ola, A. L., Silaban, D. P., & Silaban, D. P. (2018). Komposit Bata Beton Ringan Dari Fly Ash dan Bottom Ash Limbah Batubara Pabrik Minyak Nabati. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(1), 47–55. <https://doi.org/10.26578/jrti.v12i1.3514>
- Pojoh, B., Mapanget, J. R., & Dua, P. (2021). *KOMPOSIT PAVING BLOCK EFFECT OF FLY ASH SOLID WASTE VEGETABLE OIL FACTORY IN PAVING*. 13(1), 1–10.
- Sheet, P. D. (2016). *Sikament ® LN DESCRIPTION*. November, 1–3.
- Triwulan, Ekaputri, J. J., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 33(3), 33–45.