

# Efek Kadar *Polycarboxylate Ether (PCE)* terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

EGGIDYO PASRUDHIWA PUTRA<sup>1</sup>, BERNARDINUS HERBUDIMAN<sup>2</sup>,  
RULLI RANASTRA IRAWAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

<sup>2</sup>Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

<sup>3</sup>Peneliti, Pusat Penelitian Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung  
e-mail: eggidy94@gmail.com

## ABSTRAK

*Penambahan superplasticizer kedalam campuran beton geopolimer memiliki peranan penting untuk kemudahan pekerjaan. Akan tetapi, kualitas beton geopolimer tersebut harus tetap terjaga. Beton geopolimer merupakan beton tanpa semen dengan bahan pengganti semen harus berupa pengikat material yang mengandung silika dan alumunium yang tinggi seperti fly ash. Jenis fly ash yang digunakan pada penelitian yaitu fly ash Suralaya 1 dan Suralaya 2. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar superplasticizer PCE terhadap sifat mekanik beton geopolimer yaitu slump flow, nilai pantul, cepat rambat gelombang, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, dan modulus elastisitas. Kadar superplasticizer PCE yang digunakan kadar 0,5%; 1,0%; 1,5%; dan 2,0%. Hasil dari penelitian diketahui bahwa kadar superplasticizer PCE optimum adalah 0,5% sampai 1,0% untuk beton geopolimer karena beton mendapatkan flow yang paling mengalir dan mutu dari sifat mekanik beton geopolimer yang baik.*

**Kata kunci:** beton geopolimer, superplasticizer PCE, slump flow, uji destruktif, uji non-destruktif

## ABSTRACT

*The Addition of superplasticizer into geopolimer concrete mix has an important role to improve the workability of concrete. However, the quality of the geopolimer concrete must always be maintained. Geopolimer concrete is a concrete without cement where it can be replaced with binder material with high silica and alumunium content such as fly ash. The variant of fly ash used in this study is fly ash Suralaya 1 and Suralaya 2. The study was conducted to determine the effect of dosage PCE superplasticizer on mechanical properties of geopolimer concrete which is slump flow, rebound number, pulse velocity, compressive strength, splitting, flexural, and modulus elasticity. Dosage of PCE superplasticizer used 0,5%; 1,0%; 1,5%; dan 2,0%. The results of the study can be conclusion that the optimum dosage is 0,5-1,0% which best flow and best mechanical properties.*

**Keywords:** geopolimer concrete, superplasticizer PCE, slump flow, destructive test, nondestructive test

## 1. PENDAHULUAN

Beton geopolimer adalah beton tanpa semen yang dimana bahan pengganti semen tersebut haruslah bahan yang dapat memiliki sifat dapat merekatkan material lain seperti mengandung *silica* (Si) dan alumina (Al) yang tinggi. Beton geopolimer diperkenalkan sebagai inovasi ramah lingkungan, dimana seperti yang telah diketahui bahwa proses pembuatan semen membutuhkan energi yang sangat besar yang dapat menyebabkan masalah lingkungan. Beton geopolimer mulai diperkenalkan sebagai beton ramah lingkungan sebagai solusi beton inovasi untuk mengurangi emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Ekaputri J.J (2013). Salah satu material yang memiliki kandungan silika dan alumina yang tinggi adalah *fly ash*. Akan tetapi, untuk mengaktifkan sifat *silica* dan alumina tersebut, diperlukan rekasi kimia dengan suatu senyawa lain yaitu sodium hidroksida (NaOH) sebagai aktifator dan untuk mempercepat reaksinya perlu ditambahkan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) sebagai katalisator.

Agar kemudahan pekerjaan seperti proses pemadatan dapat tercapai, maka suatu campuran beton perlu ditambahkan zat aditif seperti zat PCE (*Polycarboxylate Ether*). Dengan menambahkan PCE *superplasticizer* ini ke dalam campuran beton, diharapkan PCE *superplasticizer* ini dapat mengabsorpsi kadar air yang terkandung di dalam campuran beton dan dapat membuat campuran beton tersebut menjadi encer. Sehingga campuran beton tersebut mudah untuk didistribusikan dan dipadatkan serta waktu pengerasan beton juga cepat dengan tidak mengurangi mutu suatu beton tersebut. Untuk itu, perlu diperhatikan kadar penambahan SP dalam campuran beton agar diperoleh kadar optimum dimana adanya keseimbangan antara nilai flow dan mutu beton tersebut.

Tujuan penelitian efek kadar *superplasticizer* terhadap beton geopolimer adalah:

1. mengetahui sifat mekanik beton yang terdiri dari *slump flow*, nilai pantul, cepat rambat gelombang, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur, dan modulus elastisitas beton;
2. mengetahui kadar *superplasticizer* PCE yang paling optimal untuk beton geopolimer berbasis *fly ash* dari setiap pengujian yang dilakukan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beton Geopolimer

Penjabaran mengenai beton geopolimer akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 2.1.1 Definisi Geopolimer

Geopolimer merupakan bagian dari ilmu polimer, kimia, dan teknologi yang membentuk salah satu bidang utama dari ilmu material. Bahan utama yang digunakan dalam sintesis polimer berbasis silikon (material pembentuk batuan batuan asal) adalah material pengikat seperti *fly ash*, *blast furnace slag*, dan *metacolin* atau abu sekam padi.

#### 2.1.2 Definisi Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah beton yang menggunakan bahan geopolimer sebagai bahan pengganti semen. Ada banyak sekali bahan yang bisa digunakan untuk mengganti fungsi semen dalam beton. Akan tetapi, dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah *fly ash*. Dipilihnya *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dikarenakan *fly ash* memiliki ukuran butir yang hampir sama dan *fly ash* memiliki kemampuan untuk menjadi pengikat antar agregat (apabila diberi aktifator) layaknya semen. Material ini merupakan limbah batu bara yang mempunyai kandungan silika dan alumina yang sangat tinggi. *Fly ash* yang diaktifkan dengan larutan alkali berupa sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) sebagai katalisatornya.

## 2.2 Material Campuran Beton Geopolimer

Material yang digunakan dalam campuran beton geopolimer adalah sebagai berikut.

### 1. Agregat

Menurut Sukirman, S (2012), agregat merupakan butir-butir batu pecah, krikil, pasir, atau mineral lain baik yang berasal dari alam maupun buatan. Sedangkan persyaratan ukuran agregat maksimum yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan ASTM C33 (2002).

### 2. Fly ash

*Fly ash* merupakan residu (sisa) mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik ASTM C618. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator biasanya berukuran silt (0,074 - 0,005 mm). *Fly ash* ini terutama terdiri dari silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Bahan ini apabila direaksikan dengan aktivator seperti sodium hidroksida (NaOH) dan katalisator sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) akan mampu membentuk senyawa-senyawa yang bersifat semen. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian adalah *fly ash* Suralaya 1 dan Suralaya 2 dengan kandungan senyawa seperti pada **Tabel 1** sebagai berikut.

**Tabel 1. Hasil Pengujian *Slump Flow* Beton Geopolimer**

Senyawa	<i>Fly Ash</i> Suralaya 1	<i>Fly Ash</i> Suralaya 2
$\text{SiO}_2$	57,30	49,31
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,94	28,50
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9,73	6,91
CaO	5,57	4,84
MgO	5,43	1,68
$\text{SO}_3$	< 0,01	< 0,01
$\text{Na}_2\text{O}$	0,63	0,73
K <sub>2</sub> O	0,79	0,53
LOI	0,96	4,42
( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )	83,97	84,72

### 3. Aktifator dan Katalisator

Aktifator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Aktifator pada penelitian ini adalah sodium hidroksida. Sedangkan katalisator merupakan zat yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Katalisator dalam penelitian ini adalah sodium silikat.

### 4. Superplasticizer

*Superplasticizer* adalah bahan *admixture* atau bahan tambahan yang dicampurkan pada suatu campuran beton. Pada penelitian ini, *superplasticizer* yang digunakan adalah *polycarboxylates ether* (PCE). PCE adalah jenis *superplasticizer* yang akhir-akhir ini paling banyak digunakan sebagai bahan *admixture* pada beton karena PCE merupakan bahan *admixture* yang paling efektif dibandingkan dengan bahan kimia yang lainnya. Hal ini dikarenakan bahwa PCE dapat mereduksi penggunaan air sebanyak 40%. Biasanya PCE digunakan sebagai pembuatan kekuatan tinggi dengan faktor air semen (w/c) sebesar 0,2. Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, semakin banyak kadar yang ditambahkan kedalam suatu campuran beton, maka mutu beton akan turun. Dengan demikian, pada penelitian ini yang juga berdasarkan pada penelitian sebelumnya, kadar

penambahan SP PCE kedalam campuran beton geopolimer adalah sebesar 0,5%; 1,0%; 1,5%; dan 2,0%.

### 2.3 Pengujian Beton Geopolimer Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keadaan atau sifat-sifat beton dalam keadaan masih segar. Pada penelitian ini, pengujian beton segar yang dilakukan adalah pengujian *slump flow*.

### 2.4 Pengujian Beton Geopolimer Keras

Pengujian beton keras dilakukan untuk menentukan mutu dari suatu beton yang telah dibuat terhadap beban yang diterima beton.

#### 2.4.1 Uji Non-destruktif

Pengujian non-destruktif dilakukan pada beton geopolimer tanpa membuat beton sampai keadaan hancur. Pengujian non-destruktif pada penelitian ini adalah pengujian nilai pantul. Menurut SNI-03-4803 (1998), angka pantul adalah suatu besaran dalam skala linier yang merupakan jarak pantul plunyer baja yang menempel pada permukaan beton terhadap palu baja, dimana pantulan tersebut ditimbulkan oleh tumbukan palu baja dengan jumlah energi yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Metode pengujian nilai pantul adalah mencakup penentuan angka pantul beton yang sudah mengeras dengan menggunakan palu baja yang gerakannya dikendalikan oleh pegas. Pada penelitian ini, umur pengujian yang dilakukan adalah pada umur 7 hari dan 28 hari untuk masing-masing kadar *superplasticizer*. Untuk setiap kadar dan umur pengujian, benda uji berjumlah 3 buah. Hasil yang akan diperoleh dari pengujian ini harus dibandingkan dengan pengujian kuat tekan untuk menentukan korelasi antara hasil pengujian non-destruktif dengan pengujian destruktif.

#### 2.4.2 Uji Destruktif

Uji destruktif dilakukan untuk mengetahui mutu suatu beton hingga beton tersebut runtuh atau hancur. Pada penelitian ini, uji destruktif yang dilakukan adalah uji kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton.

##### 1) Uji Kuat Tekan Beton (*Compressive*)

Pengujian kuat tekan pada beton ditujukan untuk mengetahui nilai kekuatan beton terhadap beban yang terjadi. Hasil pengujian ini adalah berupa nilai kuat tekan beton dalam satuan MPa dimana nilainya harus lebih besar dari kuat tekan rencana yaitu 30 MPa. Benda uji untuk pengujian kuat tekan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji berbentuk kubus dengan dimensi setiap sisinya sebesar 5 cm. Umur pengujian yang akan diujikan dalam penelitian ini adalah umur 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 28 hari untuk masing-masing kadar *superplasticizer*. Perhitungan kuat tekan beton dapat dilihat pada **Persamaan 1** sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad \dots (1)$$

dimana:

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa),

$P$  = beban (N),

$A$  = luas penampang benda uji silinder (mm<sup>2</sup>).

##### 2) Uji Kuat Tarik Belah (*Splitting*)

Pengujian kuat tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton. Hasil pengujian dalam pengujian ini adalah berupa nilai kuat tarik belah beton geopolimer dalam satuan MPa. Benda uji yang

digunakan adalah benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Umur pengujian yang diujikan dalam penelitian ini adalah umur 7 hari dan umur 28 hari untuk masing-masing kadar *superplasticizer*. Untuk setiap kadar *superplasticizer* dan umur pengujian, jumlah benda uji yang akan diujikan adalah sebanyak 3 buah. Adapun rumus untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah pada pengujian ini dapat dilihat pada **Persamaan 2** sebagai berikut.

$$f_{ct} = \frac{2P}{LD} \quad \dots (2)$$

dimana:

$f_{ct}$  = kuat tarik belah (MPa),  
 $P$  = beban uji maksimum (N),  
 $L$  = panjang benda uji (mm),  
 $D$  = diameter benda uji (mm).

Sedangkan untuk rumus pendekatan antara kuat tarik belah dan kuat tekan (rumus beton konvensional biasa) dapat dilihat pada **Persamaan 3** sebagai berikut.

$$f_{ct} = 0,7\sqrt{f'_c} \quad \dots (3)$$

### 3) Uji Kuat Tarik Lentur (*Flexural*)

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh kuat lentur beton untuk keperluan perencanaan struktur. Benda uji yang digunakan adalah balok beton berpenampang bujur sangkar dengan panjang total balok empat kali lebar penampangnya. Dimana dalam penelitian ini ukuran balok yang digunakan adalah balok beton dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Umur pengujian yang dilakukan pada pengujian ini adalah umur 28 hari. Banyaknya benda uji yang akan diujikan adalah sebanyak 2 buah untuk setiap variasi kadar *superplasticizer*. Adapun rumus untuk mendapatkan nilai kuat tarik lentur pada pengujian ini dapat dilihat pada **Persamaan 4** sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{PL}{bh^2} \quad \dots (4)$$

dimana:

$\sigma_l$  = kuat lentur (MPa),  
 $P$  = beban maksimum (N),  
 $L$  = panjang bentang diantara kedua balok tumpuan (mm),  
 $b$  = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm),  
 $h$  = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm).

Sedangkan untuk rumus pendekatan antara kuat tarik lentur dan kuat tekan (rumus beton konvensional biasa) dapat dilihat pada **Persamaan 5** sebagai berikut.

$$\sigma_l = 0,7\sqrt{f'_c} \quad \dots (5)$$

### 4) Uji Modulus Elastisitas (MoE)

Modulus elastisitas adalah kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan yang bergantung pada sifat tegangan dan

regangan. Benda uji yang digunakan adalah benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Umur pengujian yang dilakukan pada pengujian ini adalah umur 28 hari untuk setiap variasi kadar *superplasticizer*. Banyaknya benda uji yang diujikan untuk setiap variasi kadar *superplasticizer* dan umur pengujian adalah sebanyak 2 buah. Adapun rumus untuk mendapatkan nilai modulus beton geopolimer pada pengujian ini dapat dilihat pada **Persamaan 6** sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad \dots (6)$$

dimana:

$E_c$  = modulus elastisitas beton (MPa),

$S_2$  = kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa),

$S_1$  = kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai  $\varepsilon_1 = 0,000050$  (MPa),

$\varepsilon_2$  = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat  $S_2$ .

Sedangkan untuk rumus pendekatan antara modulus elastisitas dan kuat tekan (rumus beton konvensional biasa) dapat dilihat pada **Persamaan 7** sebagai berikut.

$$E_c = 4700\sqrt{F'_c} \quad \dots (7)$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Kajian Penelitian

Pada tahap ini, hal-hal yang dilakukan adalah melakukan kajian mengenai beton geopolimer baik itu mengenai material penyusun, bahan kimia tambahan seperti sodium hidroksida (aktifator) dan sodium silikat (katalisator), bahan tambahan yaitu *superplasticizer* tipe PCE, komposisi campuran, cara pencampuran, perawatan, dan pengujian. Percobaan (*trial and error*) dilakukan sebelum perancangan komposisi *trial mix* beton geopolimer untuk mengetahui persentase bahan campuran beton geopolimer. Pengujian dilakukan pada beton segar dan beton keras beton geopolimer. Perawatan beton dilakukan setelah beton dikeluarkan dari cetakan sampai beton siap untuk diuji dengan cara *wrapping*. Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Balai Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Bandung.

#### 3.2 Persiapan Material

Adapun material yang harus dipersiapkan adalah sebagai berikut.

1. Air  
Air yang digunakan pada benda uji dalam penelitian ini adalah air mutu A dimana air tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.
2. Fly ash  
*Fly ash* yang digunakan pada penelitian beton geopolimer adalah *fly ash* Suralaya 1 dan Suralaya 2 kelas F lolos saringan 200 yang sebelumnya sudah dioven untuk menghilangkan kadar air *fly ash*.
3. Agregat Kasar  
Agregat kasar untuk penelitian beton geopolimer adalah agregat yang berasal dari Muntilan, disesuaikan dengan ketersediaan bahan di Laboratorium Pusjatan dengan agregat maksimum yang digunakan adalah 10 mm.
4. Agregat Halus  
Untuk agregat halus yang digunakan pada penelitian beton geopolimer ini adalah agregat yang berasal dari Muntilan, disesuaikan dengan ketersediaan bahan di Laboratorium

Pusjatan. Agregat halus yang digunakan adalah agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan di saringan No. 200. Agregat halus tidak mengandung lumpur.

5. Superplasticizer  
*Superplasticizer* yang digunakan adalah *polycarboxylate ether* sebagai bahan aditif tambahan yang paling efektif dan paling banyak digunakan sebagai tambahan kedalam campuran beton dengan bentuk serbuk yang dilarutkan dalam air tambahan sebesar 2% terhadap berat *fly ash*.
6. Aktivator dan Katalisator  
Aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida, sedangkan untuk katalisator digunakan sodium silikat.

### 3.3 Perancangan Komposisi *Trial Mix*

Perancangan komposisi *trial mix* beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan hasil percobaan (*trial and error*) yang dilakukan sebelum penelitian, dikarenakan adanya dua jenis *fly ash* yang digunakan yaitu *fly ash* suralaya dan *fly ash* bayah. Perbandingan bahan-bahan beton geopolimer adalah sebagai berikut:

1. berat agregat 62% dari total beton;
2. perbandingan *fly ash* : aktivator adalah 3 : 2;
3. perbandingan berat agregat kasar 52% dari total agregat;
4. berat agregat halus 48% dari total agregat;
5. perbandingan sodium silikat : sodium hidroksida adalah 3 : 2;
6. perbandingan *fly ash* Suralaya 1 dan Suralaya 2 adalah 0,5;
7. *superplasticizer* yang digunakan adalah 1% terhadap berat *fly ash* dengan tambahan air 2% terhadap berat;
8. tambahan air 1% terhadap berat total untuk agregat.

### 3.4 Pengujian dan Perawatan Beton Geopolimer

Uji *slump flow* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kelacakan beton dan sebagai salah satu cara pengendalian mutu pada beton segar. Setelah beton dicetak, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan prosese perawatan beton hingga pada umur pengujian yang telah ditentukan. Pada penelitian beton geopolimer ini, perawatan beton dilakukan dengan cara membungkus beton dengan *plastic wrap*. Tujuan dari pembungkusan beton geopolimer dengan *plastic wrap* adalah untuk menjaga kelembapan pada beton. Setelah mencapai umur rencana yang ditetapkan, maka *plastic wrap* dibuka dan dilakukan pengujian terhadap sifat mekanik beton geopolimer berbasis *fly ash*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan kadar SP PCE yang berbeda-beda adalah uji non-destruktif dan uji destruktif..

### 3.5 Pengujian Beton Geopolimer Keras

Tujuan dlakukannya pengujian beton keras adalah untuk mengetahui mutu suatu beton terhadap beban yang diterimanya. Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Sementara untuk pengujian nilai pantul, cepat rambat gelombang, dan kuat tarik belah, dilakukan pengujian pada umur 7 hari dan 28 hari. Sedangkan untuk pengujian modulus elastisitas dan kuat lentur, dilakukan pengujian pada umur beton 28 hari.

## 4. DATA DAN ANALISIS HASIL

### 4.1 Hasil Uji Beton Geopolimer Segar

Hasil pengujian *slump flow* beton geopolimer dengan variasi kadar *superplasticizer* PCE yang berbeda serta campuran beton geopolimer tanpa SP PCE sebagai pembanding dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

**Tabel 2. Hasil Pengujian *Slump Flow* Beton Geopolimer**

No	Kadar <i>Superplasticizer</i> PCE	Nilai <i>Slump Flow</i> (cm)
1	0,5%	61,55
2	1,0%	57,25
3	1,5%	53,00
4	2,0%	54,25
5	Tanpa <i>Superplasticizer</i>	54,50

Berdasarkan **Tabel 2** dan **Gambar 1** di atas, dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar SP yang ditambahkan kedalam campuran beton geopolimer, maka nilai kelacakannya akan semakin menurun dan bahkan lebih kecil apabila dibandingkan dengan beton geopolimer tanpa SP. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar optimum penambahan kadar SP adalah pada persentase 0,5%.

## 4.2 Hasil Uji Beton Geopolimer Keras

Hasil-hasil pengujian beton geopolimer keras adalah sebagai berikut.

### 4.2.1 Uji Non-destruktif

Pada **Tabel 3** berikut akan dilihat hasil pengujian nilai pantul pada penelitian ini.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Pantul Beton Geopolimer untuk Umur Tertentu**

Persentase SP PCE (%)	Kuat Tekan (MPa)
0,5	17,83
1,0	20,25
1,5	17,75
2,0	15,52

Berdasarkan **Tabel 3** di atas, dapat dilihat bahwa kadar persentase optimum penambahan SP adalah berada pada persentase 1,0%. Untuk mutu beton, pada pengujian nilai pantul ini, mutu yang diperoleh tidak mencapai kuat tekan rencana. Akan tetapi, pengujian nilai pantul ini belum bisa dikatakan gagal. Hal ini dikarenakan bahwa pengujian nilai pantul ini masih harus dibandingkan dengan pengujian kuat tekan. Setelah dilakukan perbandingan dengan pengujian kuat tekan, maka analisis dapat dilakukan.

### 4.2.2 Uji destruktif

Hasil-hasil pengujian destruktif akan dijabarkan pada pembahasan sebagai berikut.

#### 1) Uji Kuat Tekan (*Compressive*)

Pada **Tabel 4** dan **Gambar 2** berikut ini akan dilihat hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan variasi kadar SP dan variasi umur pengujian.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer untuk Kadar SP PCE Tertentu**

Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)				
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	Tanpa SP
1	7,14	9,60	7,81	7,36	9,39
3	19,17	19,51	15,00	14,27	20,10
7	30,23	30,13	33,40	33,91	44,23
28	55,94	57,40	55,74	48,69	61,96

Berdasarkan **Tabel 4** di atas, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan pada semua umur pengujian (kecuali umur 7 hari) terdapat pada persentase 1,0%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar optimum beton geopolimer pada penelitian ini adalah 1,0%. Hal ini dapat terjadi karena pada penambahan kadar 1,0% terjadi sinkronisasi reaksi antara SP dan reaksi polimerisasi. Berdasarkan **Tabel 4** di atas, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan yang paling besar terdapat pada beton yang tidak ditambahkan SP kedalam campurannya. Hal ini diduga karena penambahan SP mengganggu proses rekasi (proses pengerasan) suatu beton. Walaupun penambahan SP dapat mengurangi kuat tekan beton geopolimer, kuat tekan yang diperoleh dari hasil penelitian ini tetap lebih besar dari kuat tekan rencana yaitu 30 MPa. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa beton geopolimer yang diujikan pada penelitian ini merupakan beton mutu tinggi.

2) Uji Kuat Tarik Belah (*Splitting*)

Pada **Tabel 5** berikut ini akan dilihat hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dengan variasi kadar SP dan variasi umur pengujian.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer untuk Umur Tertentu**

Persentase SP PCE (%)	Kuat Tarik Belah (MPa)	
	7 Hari	28 Hari
0,5	6,094	10,884
1,0	6,839	10,573
1,5	5,781	9,998
2,0	6,778	8,180
Tanpa SP (0%)	6,222	9,563

Berdasarkan **Tabel 5** di atas dapat dilihat bahwa pada pengujian umur 7 hari untuk variasi kadar SP terdapat data-data outlier. Akan tetapi, pada pengujian umur 28 hari untuk variasi kadar SP mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar SP yang ditambahkan kedalam campuran beton geopolimer. Dengan demikian, sebagai acuan penelitian, hasil pengujian yang akan dibandingkan adalah hasil pengujian dengan umur 28 hari. Untuk variasi kadar SP yang ditambahkan kedalam campuran beton geopolimer, dapat dilihat bahwa kadar optimum penambahan SP adalah pada kadar 0,5%.

3) Uji Kuat Tarik Lentur (*Flexural*)

Pada **Tabel 6** berikut ini akan dilihat hasil pengujian kuat tarik lentur beton geopolimer dengan variasi kadar SP dan variasi umur pengujian dengan umur pengujian 28 hari.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer**

Persentase SP PCE (%)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
0,5	3,46
1,0	3,32
1,5	3,19
2,0	2,58

Berdasarkan **Tabel 6** di atas, dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan kadar SP PCE kedalam campuran beton geopolimer, maka nilai kuat tarik lentur beton geopolimer semakin menurun. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar optimum penambahan SP PCE kedalam campuran beton geopolimer adalah sebesar 0,5%.

## 4) Uji Modulus Elastisitas (MoE)

Pada **Tabel 7** berikut ini akan dilihat hasil pengujian modulus elastisitas beton geopolimer dengan variasi kadar *superplasticizer* dan variasi umur pengujian dengan umur pengujian 28 hari.

**Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Geopolimer**

Persentase SP PCE (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
0,5	9.687,52
1,0	31.112,58
1,5	16.510,83
2,0	16.840,39

Berdasarkan **Tabel 7** di atas, dapat dilihat bahwa efek penambahan kadar *superplasticizer* kedalam campuran beton geopolimer memiliki kadar optimum pada kadar 1,0%.

**4.3 Pembahasan**

Setelah dilakukan pengujian *slump flow*, dapat disimpulkan bahwa efek penambahan SP PCE kedalam campuran beton geopolimer, maka tingkat kelacakan beton geopolimer semakin menurun. Pada penelitian Plank J, et al (2009) mengenai kecocokan penambahan PCE kedalam campuran beton dengan *silica fume*, dihasilkan bahwa penambahan PCE kedalam campuran beton dengan *silica fume* mengakibatkan workability beton semakin buruk karena penambahan PCE kedalam komponen selain semen akan menyebabkan pengembangan muatan permukaan positif dan dapat berinteraksi dengan molekul anionik. Dengan berdasarkan penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dapat dimpulkan juga bahwa penambahan PCE kedalam campuran beton geopolimer berbasis *fly ash* tidak dapat menyebabkan beton segar menyebar.

Beton geopolimer berbasis *fly ash* dapat dikategorikan sebagai beton mutu tinggi dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Untuk hubungan antara uji kuat tekan dan kuat tarik belah, kuat tekan dan kuat tarik lentur, serta kuat tekan dan modulus elastisitas dengan menggunakan rumus beton konvensional tidak terdapat korelasi yang tepat. Dengan demikian, diperlukan modifikasi rumus pendekatan untuk beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan variasi kadar SP PCE sebagai berikut.

- berdasarkan korelasi nilai rata-rata pengujian antara kuat tarik belah dan kuat tekan, maka **Persamaan 3** dimodifikasi menjadi  $f_{ct} = 1,34\sqrt{f'_c}$ . Sementara apabila berdasarkan kepada kadar optimum (0,5%) pada pengujian kuat tarik belah ini, maka **Persamaan 3** dimodifikasi menjadi  $f_{ct} = 1,46\sqrt{f'_c}$ . Pada **Tabel 8** berikut ini akan dilihat hasil modifikasi **Persamaan 3**.

**Tabel 8. Mencari Nilai x untuk Modifikasi Persamaan 3**

Persentase SP PCE (%)	$f'_c$ Rencana (MPa)	$f_{ct}$ Hasil Pengujian (MPa)	$f'_c$ Hasil Pengujian (MPa)	$x = \frac{\sqrt{f'_c}}{f_{ct}}$
0,5	30	10,884	55,94	1,46
1,0	30	10,573	57,40	1,40
1,5	30	9,998	55,74	1,34
2,0	30	8,180	48,69	1,17
Rata-rata				1,34

2. berdasarkan korelasi nilai rata-rata pengujian antara kuat tarik lentur dan kuat tekan, maka **Persamaan 5** di modifikasi menjadi  $\sigma_l = 0,425\sqrt{f'_c}$ . Sementara apabila berdasarkan kepada kadar optimum (0,5%) pada pengujian kuat tarik lentur ini, maka **Persamaan 5** dimodifikasi menjadi  $\sigma_l = 0,46\sqrt{f'_c}$ . Pada **Tabel 9** berikut ini akan dilihat hasil modifikasi **Persamaan 5**.

**Tabel 9. Mencari Nilai x untuk Modifikasi Persamaan 5**

Persentase SP PCE (%)	$f'_c$ Rencana (MPa)	$\sigma_l$ Hasil Pengujian (MPa)	$f'_c$ Hasil Pengujian (MPa)	$x = \frac{\sqrt{f'_c}}{\sigma_l}$
0,5	30	3,46	55,94	0,46
1,0	30	3,32	57,40	0,44
1,5	30	3,19	55,74	0,43
2,0	30	2,58	48,69	0,37
Rata-rata				0,425

3. berdasarkan korelasi nilai rata-rata pengujian antara modulus elastisitas dan kuat tekan, maka **Persamaan 7** dimodifikasi menjadi  $E_c = 2.506,68\sqrt{f'_c}$ . Sementara apabila berdasarkan kepada kadar optimum (0,5%) pada pengujian modulus elastisitas ini, maka **Persamaan 7** dimodifikasi menjadi  $E_c = 4.106,58\sqrt{f'_c}$ . Pada **Tabel 10** berikut ini akan dilihat hasil modifikasi **Persamaan 7**.

**Tabel 10. Mencari Nilai x untuk Modifikasi Persamaan 7**

Persentase SP PCE (%)	$f'_c$ Rencana (MPa)	$E_c$ Hasil Pengujian (MPa)	$f'_c$ Hasil Pengujian (MPa)	$x = \frac{\sqrt{f'_c}}{E_c}$
0,5	30	9.687,52	55,94	1.295,24
1,0	30	31.112,58	57,40	4.106,58
1,5	30	16.510,83	55,74	2.211,49
2,0	30	16.840,39	48,69	2.413,42
Rata-rata				2.506,68

Pada pengujian nilai pantul, nilai yang diperoleh dari hasil pengujian apabila dibandingkan dengan beton konvensional tidak memiliki nilai yang sama. Apabila pada beton biasa angka hasil pengujian nilai pantul yang didapat pada hasil pengujian sama dengan angka hasil pengujian kuat tekan, akan tetapi pada penelitian ini tidak memperoleh angka yang sama. Meskipun angka yang dihasilkan antara pengujian nilai pantul tidak sama dengan angka yang dihasilkan pada pengujian kuat tekan pada pengujian beton geopolimer berbasis *fly ash*, akan tetapi nilai yang dihasilkan tetap sama. Untuk beton semen konvensional biasa, sudah tersedia kurva korelasi antara hasil nilai pantul dengan kuat tekan; akan tetapi, kurva korelasi tersebut tidak dapat digunakan pada beton geopolimer, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membuat kurva korelasi yang baru.

Pada hasil pengujian, rata-rata kadar optimum terdapat pada penambahan kadar PCE sebesar 0,5% (pengujian tarik) dan 1,0% (pengujian tekan dan modulus elastisitas). Oleh karena kekuatan tarik beton lemah dan dalam perencanaan tidak diperhitungkan, maka dapat disimpulkan bahwa kadar optimum penambahan PCE adalah 1,0% karena diduga terjadi kesetimbangan reaksi polimerisasi dan reaksi dengan PCE pada kadar 1,0%. Secara

keseluruhan, penambahan PCE kedalam campuran beton pada penelitian ini menyebabkan penurunan mutu yang juga terjadi pada penelitian Dubey. R dan Kumar. P (2010). Hal ini diduga karena terjadinya ketidakmerataan proses pengerasan pada beton.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. semakin tinggi kadar PCE dalam campuran beton geopolimer menyebabkan penurunan nilai *flow*; akan tetapi masih memenuhi persyaratan *flow* diatas diameter 500 mm;
2. penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer, walaupun tidak terlalu signifikan;
3. beton geopolimer dengan *superplasticizer* ataupun tanpa *superplasticizer* termasuk ke dalam beton dengan mutu tinggi;
4. kadar optimum *superplasticizer polycarboxylate ether* yang dapat ditambahkan kedalam campuran adalah berkisar antara 1,0%.

## 6. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. variasi kadar SP PCE yang diujikan sebaiknya ditambah lagi agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat;
2. perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mengkonversi antara hasil nilai pantul dengan kuat tekan;
3. perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik dan reaksi kimia pada campuran *superplasticizer polycarboxylate ether* dan beton geopolimer berbasis *fly ash*.

## DAFTAR RUJUKAN

- ASTM C33-03. (2002). Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- ASTM C618-03. (2003). Standard Specification for Pozzolan and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. West Conshohocken, PA, United States of America.
- Dubey, R dan Kumar, P. (2010). *Effect of Superplasticizer Dossage on Compressive Strength of Self Compacting Concrete*. India: International Journal of Civil and Structure Engineering.
- Ekaputri, J. J. (2013). *Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil "Torsi", 2007. No. 3; ISSN 0853-6341.
- Plank, J, et al. (2009). *Effectiveness of Polycarboxylate Superplasticizer in Ultra-High Strength Concrete: The Importance of PCE Compatibility with Silica Fume*. Jepang: Journal of Advanced Concrete Technology.
- Sukirman, S. (2012). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.