

Efek Tipe *Superplasticizer* terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras pada Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

RIA UTAMI¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN²,
RULLI RANASTRA IRAWAN³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

³Peneliti Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung

Email: utamiria25@gmail.com

ABSTRAK

Beton geopolimer adalah beton tanpa semen portland dengan bahan pengikat material yang mengandung silika dan alumunium yang tinggi seperti fly ash. Silika dan alumunium pada fly ash diaktifkan oleh aktivator yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan katalisator yaitu sodium silikat (Na_2SiO_3). fly ash yang digunakan pada penelitian adalah campuran fly ash PLTU Suralaya 1 dan PLTU Suralaya 2. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh tipe superplasticizer terhadap beton segar dan keras beton geopolimer yaitu slump flow, setting time dan kuat tekan. Superplasticizer yang digunakan adalah naphthalene, sodium glukonat dan polycarboxylate. Benda uji kuat tekan adalah kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm sebanyak 3 buah, pengujian dilakukan pada umur beton 1, 3, 7 dan 28 hari. Hasil dari penelitian diketahui bahwa superplasticizer sodium glukonat adalah superplasticizer terbaik untuk beton geopolimer karena beton mendapatkan flow dan setting time yang lama, dengan kuat tekan yang tidak jauh berbeda dengan beton geopolimer.

Kata kunci: beton geopolimer, fly ash, superplasticizer, beton segar, beton keras

ABSTRACT

Geopolymer concrete is a concrete without portland cement with high component silica and aluminium as the binding material such as fly ash. Silica and aluminium in fly ash is activated by sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3). fly ash used in the study was mix two steam power plant, fly ash PLTU Suralaya 1 and PLTU Suralaya 2. The study was conducted to determine the effect of type superplasticizer on fresh concrete and hardened of geopolymer concrete which is Slump flow, setting time and compressive strength. Superplasticizer used is naphthalene, sodium gluconate and polycarboxylate. Compressive strength test specimen is a cube measuring 5 cm x 5 cm x 5 cm as much as 3 pieces, testing is done on the concrete 1, 3, 7 and 28 days. The results of the study note that sodium gluconate is the best admixture for geopolymer concrete because concrete has highest flow characteristic and longer setting time, with difference of compressive strength was not significantly.

Keywords: geopolymer concrete, fly ash, superplasticizer, fresh concrete, hardened concrete

1. PENDAHULUAN

Beton geopolimer adalah beton yang tidak menggunakan semen dalam campurannya. Beton geopolimer juga dapat dikatakan sebagai salah satu material *green building*. Pengganti semen yang digunakan adalah bahan-bahan yang memiliki kandungan senyawa yang sama dengan semen, salah satunya adalah *fly ash*. *Fly ash* dipilih karena memiliki nilai Si (silika) dan Al (aluminium) yang cukup tinggi. Untuk mengaktifkan silika dan aluminium yang terdapat di *fly ash*, solusi yang dilakukan adalah dengan menambahkan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) (Hardjito dalam Wallah, 2005). Jumlah limbah *fly ash* dari pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah 8 juta ton/tahun, beton geopolimer merupakan salah satu solusi yang baik untuk dimanfaatkan.

Superplasticizer digunakan untuk membuat beton dengan kelacakan yang baik sehingga beton dapat dikerjakan dengan mudah. Penggunaan *superplasticizer* yang kurang tepat dapat menjadi masalah yang besar dalam kualitas beton segar (Antoni dan Handoko, 2007). Pemilihan tipe *superplasticizer* menentukan sifat segar dan keras beton geopolimer sehingga penggunaannya perlu disesuaikan dengan tujuan yang diinginkan seperti *workability*, *setting time* dan kuat tekan oleh karena itu penelitian tentang berbagai tipe *superplasticizer* dilakukan. Penelitian dapat dimulai dengan beberapa tipe *superplasticizer*, seperti *superplasticizer naphthalene*, *polycarboxylate* dan sodium glukonat. Senyawa yang berbeda akan menghasilkan hasil yang berbeda, beton geopolimer tidak bisa disamakan dengan beton biasa yang menggunakan semen.

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

1. mengetahui sifat beton geopolimer segar dan keras yang terdiri dari *slump flow*, *setting time* dan kuat tekan beton;
2. mengetahui jenis *superplasticizer* yang paling optimal untuk beton geopolimer berbasis *fly ash* dari setiap pengujian yang dilakukan;
3. mengetahui jenis *superplasticizer* yang paling optimal untuk beton geopolimer berbasis *fly ash* ditinjau dari seluruh pengujian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

Dua komponen utama dalam geopolimer yaitu material dan larutan alkali. Material yang digunakan untuk geopolimer harus mengandung aluminium dan silika yang tinggi. Material yang mengandung aluminium dan silika yang tinggi adalah *fly ash*, *silica fume*, *slag*, lumpur, dll, sehingga material tersebut dapat digunakan sebagai komponen geopolimer pada beton. Pemilihan didasarkan pada ketersediaan material, biaya, tipe, dan spesifikasi yang dibutuhkan pada penelitian. Larutan alkali yang biasa digunakan adalah sodium hidroksida dan sodium silikat. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah *fly ash*, mengingat jumlahnya yang semakin lama semakin banyak sebagai limbah PLTU, sehingga sudah seharusnya dimanfaatkan sebagai salah satu beton geopolimer. Pemilihan *fly ash* juga didasarkan oleh kandungan silika dan aluminium yang tinggi pada *fly ash*, sedangkan untuk larutan alkali menggunakan sodium silikat dan sodium hidroksida. Larutan alkali dapat bereaksi dengan silika dan aluminium pada geopolimer pada *fly ash* untuk menghasilkan ikatan (Davidovits, 1988).

2.2 Bahan Campuran Beton Geopolimer

2.2.1 Agregat

Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku pijar yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolis (SNI 03 2847 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung), sedangkan menurut Sukirman S., (2012), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Ukuran butiran menentukan kuat tekan beton, oleh karena itu penentuan ukuran maksimum perlu dilakukan demi terciptanya beton dengan kekuatan yang diinginkan. Persyaratan ukuran agregat maksimum menurut ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

1. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari 1/5 kali dimensi terkecil struktur (lebar atau tinggi);
2. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari 3/4 kali jarak bersih antar baja tulangan, atau antar baja tulangan, atau antar tendon pra-tegang, atau selongsong;
3. ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari 1/3 kali tebal pelat.

2.2.2 *Fly Ash*

Material utama untuk pembentukan geopolimer yang memiliki ikatan alumino-silikat harus kaya akan silika dan alumunium. Material buatan seperti *fly ash* dan *slag* merupakan material yang paling potensial sebagai bahan dasar beton geopolimer (Hardjito et al, 2005). *Fly ash* atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, banyak digunakan sebagai bahan campuran pada beton. *Fly ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, tetapi dengan bantuan aktivator, silika yang terkandung dalam *fly ash* dapat bereaksi secara kimia sehingga terjadinya ikatan atau kemampuan mengikat. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian adalah *fly ash* PLTU Suralaya 1 dan PLTU Suralaya 2. **Tabel 1** adalah spesifikasi *fly ash* menurut ASTM C618.

Tabel 1. Klasifikasi *Fly Ash* (Sumber: ASTM C618)

Kandungan	Kelas <i>Fly Ash</i>		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min %	70	70	50
SiO ₃ , maks %	4	5	5
Kadar air, maks %	3	3	3
<i>Loss on ignition</i> , maks %	10	6	6

2.2.3 Aktivator dan Katalisator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini dikarenakan silika merupakan asam kuat maka akan bereaksi dengan basa kuat. Sodium hidroksida adalah senyawa basa kuat, sehingga penambahan sodium hidroksida pada *fly ash* dapat mereaksikan silika. Katalisator merupakan zat yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam pembuatan beton geopolimer, katalisator juga digunakan. Aktivator sodium hidroksida biasanya dipasangkan dengan katalis sodium silikat, hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Hardjito (2005).

2.2.4 *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambah (*admixture*). *Admixture* adalah bahan selain semen, agregat dan air yang ditambahkan pada campuran beton, sebelum atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencanaan.

Superplasticizer juga mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan workabilitas, *superplasticizer* merupakan sarana untuk menghasilkan beton yang mengalir tanpa terjadi pemisahan (*segregasi/bleeding*) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar sehingga berguna untuk percetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat pada penulangan yang rapat. Jenis-jenis *superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian adalah *superplasticizer naphthalene*, *superplasticizer polycarboxylate* dan *superplasticizer* sodium glukonat.

Superplasticizer naphthalene cocok untuk cuaca panas, memiliki nilai slump yang baik, bisa digunakan untuk *ready mix* atau pekerjaan dengan jangka waktu panjang. *Superplasticizer* sodium glukonat memiliki kemampuan untuk mengurangi kadar air pada beton biasa, memperlambat *setting time* beton dan meningkatkan *workability*. *Superplasticizer polycarboxylate* (PCE) adalah *superplasticizer* yang paling efektif. PCE mampu untuk mengurangi kadar air sampai 40% dan bisa digunakan untuk beton dengan mutu tinggi, perbandingan air dan semen yang didapat adalah 0,2. PCE memiliki nilai *slump* yang baik dan tidak menyebabkan keterlambatan pada beton biasa untuk mendapatkan kekuatan yang ingin dicapai

2.3 Pengujian Beton Geopolimer Segar

2.3.1 Slump Flow Beton Geopolimer

Slump flow test digunakan untuk menentukan *flowability* beton (kemampuan alir). Peralatan terdiri dari sebuah lingkaran berdiameter 500 mm yang digambar pada tatakan datar (*base plate*), kerucut *abram*, meteran atau penggaris dan sekop kecil. Cara pengujiannya adalah alat uji kerucut *abram* diisi dengan campuran beton segar kemudian diangkat ke atas sehingga campuran *superplasticizer* akan turun mengalir membentuk lingkaran. Pada saat pengujian diperlukan *base plate* datar agar campuran beton segar dapat mengalir dengan baik.

2.3.2 Setting Time Beton Geopolimer

Waktu ikat awal beton adalah proses di mana pengikatan atau proses hidrasi sudah terjadi dan panas hidrasi sudah muncul, serta *workability* beton sudah hilang. Fase beton yang merupakan kondisi dimana beton dinyatakan sebagai beton segar, belum terjadi proses hidrasi dan dapat dicor adalah fase plastis, dan pada umumnya diambil maksimal 2,5 jam dari waktu *mixing* beton sebagai waktu maksimal penyelesaian pengerjaan beton segar sampai dengan pemadatan/*compacting*. Waktu *setting* diperlukan untuk penentuan waktu jeda atau interval pengiriman beton segar dari *batching plant* ke lokasi proyek, hal ini dilakukan untuk meminimalkan resiko terbuangnya beton karena sudah melewati fase plastis.

Data yang didapatkan dari pengujian adalah luas jarum penetrometer, waktu, suhu udara, dan tekanan mortar yang didapatkan dari bacaan penetrometer (*lb*). Hasil bacaan penetrometer dibagi dengan luas permukaan jarum yang menekan mortar sehingga didapatkan ketahanan penetrasi dalam satuan *pound square inch* (psi).

2.4 Pengujian Beton Geopolimer Keras

Pengujian beton geopololimer keras salah satunya adalah kuat tekan tekan beton. Kuat tekan beton adalah kemampuan beton menerima gaya tekan persatuan luas, pengujian ini dilakukan dengan memberikan gaya tekan secara terus menerus sampai dengan beton hancur. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dengan prosedur uji SNI 1974 2011. Perhitungan kuat tekan beton dapat dilihat pada **Persamaan 1** (SNI 1974-2011).

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

dimana:

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban (N)

A = luas penampang benda uji silinder (mm²)

Pengujian kuat tekan beton geopolimer yang dilakukan pada penelitian adalah beton dengan umur 1, 3, 7 dan 28 hari. Persentase kuat tekan beton menggunakan semen portland pada umur 3, 7, 28 adalah 46%, 70% dan 100%, sedangkan **Persamaan 2** adalah rumus pendekatan untuk mengetahui persentase kuat tekan beton geopolimer pada umur tertentu terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

$$\% \text{ kuat tekan beton} = \frac{\text{kuat tekan beton umur yang ditinjau}}{\text{kuat tekan beton umur 28 hari}} \times 100 \quad \dots (2)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kaji literatur dan pengumpulan data bahan geopolimer yang akan digunakan pada penelitian. Percobaan (*trial and error*) dilakukan sebelum perancangan komposisi *trial mix* beton geopolimer untuk mengetahui persentase bahan campuran dan *superplasticizer* untuk benda uji. Benda uji yang digunakan adalah kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm untuk pengujian kuat tekan, dimensi tersebut dipilih karena keterbatasan bahan *fly ash* pada laboratorium. Benda uji untuk pengujian *setting time* beton adalah kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pengujian dilakukan pada beton segar dan beton keras beton geopolimer yaitu *slump flow*, *setting time* dan kuat tekan beton. Perawatan beton dilakukan setelah beton dikeluarkan dari cetakan sampai beton siap untuk diuji. Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Balai Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Bandung.

3.2 Persiapan Bahan

3.2.1 Air

Air yang digunakan dalam penelitian beton geopolimer adalah air dengan kualitas standar yang tidak berasa, berbau dan berwarna.

3.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar untuk penelitian beton geopolimer adalah agregat yang berasal dari Muntilan, disesuaikan dengan ketersediaan bahan di Laboratorium Pusjatan. Agregat maksimum yang digunakan adalah 10 mm.

3.2.3 Agregat Halus

Agregat halus untuk penelitian beton geopolimer 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.

3.2.4 *Fly Ash*

Fly ash yang digunakan pada penelitian beton geopolimer adalah *fly ash* limbah PLTU Suralaya 1 dan PLTU Suralaya 2 kelas F lolos saringan 200 yang sebelumnya sudah dioven untuk menghilangkan kadar air *fly ash*. **Tabel 2** adalah spesifikasi *fly ash* PLTU Suralaya 1 dan **Tabel 3** adalah spesifikasi *fly ash* PLTU Suralaya 2.

Tabel 2. Kandungan Senyawa pada *Fly Ash* PLTU Suralaya 1 (Sumber: PLTU Suralaya 1)

Nama Senyawa	Kandungan dalam <i>Fly Ash</i> (%)
SiO ₂	49,31
Al ₂ O ₃	28,5
Fe ₂ O ₃	6,91
CaO	4,84
Na ₂ O	0,73
K ₂ O	0,53
MgO	1,68
SiO ₃	<0,01
LOI	4,42

Tabel 3. Kandungan Senyawa pada *Fly Ash* PLTU Suralaya 2 (Sumber: PLTU Suralaya 2)

Nama Senyawa	Kandungan dalam <i>Fly Ash</i> (%)
SiO ₂	57,30
Al ₂ O ₃	16,94
Fe ₂ O ₃	9,73
CaO	5,57
Na ₂ O	0,73
K ₂ O	0,79
MgO	5,43
SiO ₃	<0,01
LOI	0,96

3.2.5 Superplasticizer

Superplasticizer yang digunakan adalah *superplasticizer* berbentuk serbuk yang dilarutkan dalam tambahan air 2%. Jenis *superplasticizer* yang dipilih untuk diteliti adalah *superplasticizer naphthalene, polycarboxylate* dan sodium glukonat.

3.2.6 Aktivator dan Katalisator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi. Penggunaan hidroksida alkali sebagai aktivator ini dikarenakan silika merupakan asam kuat maka akan bereaksi dengan basa kuat. Sodium hidroksida adalah senyawa basa kuat, sehingga penambahan sodium hidroksida pada *fly ash* dapat mereaksikan silika.

Katalisator merupakan zat yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam pembuatan beton geopolimer, katalisator juga digunakan. Aktivator sodium hidroksida biasanya dipasangkan dengan katalis sodium silikat, hal ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Hardjito (2005).

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* PLTU Suralaya 1 dan *fly ash* PLTU Suralaya 2. 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* PLTU Suralaya 1 dan PLTU 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

3.4.1 Pengujian Beton Geopolimer Segar

a. *Slump Flow* Beton Geopolimer

Tujuan dilakukannya uji *slump flow* adalah untuk mengetahui kelacakan beton dan sebagai salah satu cara pengendalian mutu pada beton segar. Pengujian yang dilakukan mengacu pada ASTM C 1611 tentang standar pengujian *slump flow* beton yaitu pengujian dilakukan menggunakan kerucut abram dan campuran beton dibiarkan mengalir di atas *base plate*.

b. *Setting Time* Beton Geopolimer

Tujuan dilakukannya pengujian *setting time* beton adalah untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh beton untuk mengikat atau pada saat *workability* beton sudah hilang. Cara pengujian *setting time* menggunakan acuan SNI ASTM C403/C403M:2012 yaitu pengujian menggunakan alat *penetrometer*. Benda uji yang dipakai adalah mortar beton geopolimer dengan cetakan kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm.

3.4.2 Perawatan Beton Geopolimer

Perawatan (*curing*) merupakan salah satu usaha yang dilakukan agar beton bisa mencapai kekuatan yang direncanakan. 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.

3.4.3 Pengujian Beton Geopolimer Keras

Pengujian beton geopolimer keras yaitu kuat tekan beton dilakukan pada umur 1, 3, 7, dan 28 hari. Tujuan dilakukannya pengujian menurut SNI 1974 2011 adalah untuk mengetahui nilai tekan dengan prosedur yang benar dan dilakukan untuk pengendalian mutu pada beton. Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin *universal testing machine* (UTM).

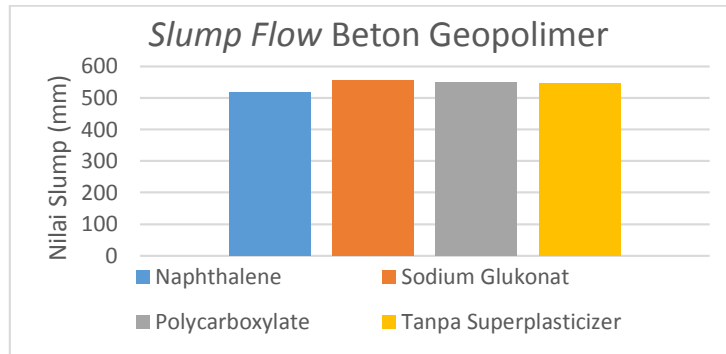
4. DATA DAN ANALISIS HASIL

4.1 Hasil Pengujian *Slump Flow* Beton Geopolimer

Pengujian *slump flow* dilakukan untuk mengetahui kelacakan beton dan kemampuan beton mengalir. Setiap tipe *superplasticizer* mempunyai unsur yang berbeda-beda, sehingga akan menghasilkan *flow* yang berbeda. Pengujian *slump flow* beton geopolimer tanpa *superplasticizer* juga dilakukan sebagai tolak ukur *slump flow* beton geopolimer. Hasil *slump flow* beton geopolimer dengan tipe *superplasticizer* berbeda dapat dilihat di **Tabel 4** dan **Gambar 1**.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Slump Flow* Beton Geopolimer

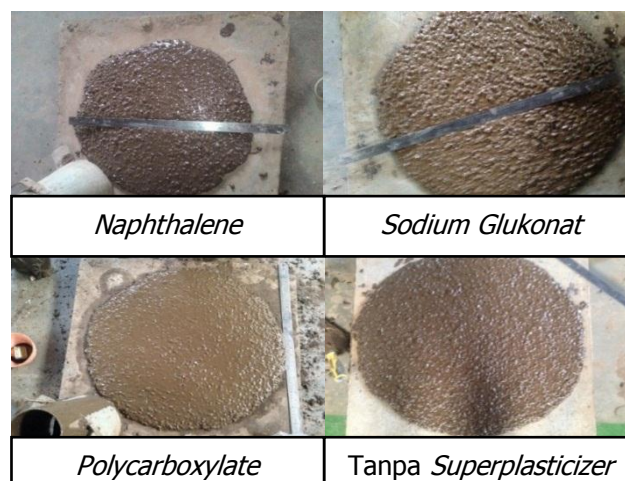
No	Tipe <i>Superplasticizer</i>	Nilai <i>Slump Flow</i> (mm)
1	<i>Naphthalene</i>	517,5
2	Sodium Glukonat	555,0
3	<i>Polycarboxylate</i>	550,0
4	Tanpa <i>Superplasticizer</i>	545,0



Gambar 1. Hasil pengujian *slump flow* beton geopolimer

Dari **Tabel 4** dan **Gambar 1** terlihat bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat menambah kelacakan pada beton, tetapi dengan hasil yang tidak signifikan dengan beton geopolimer tanpa *superplasticizer* dapat disimpulkan bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer tidak terlalu berpengaruh pada kelacakan awal beton yaitu pada saat campuran beton selesai di *mix*. Penggunaan aktivator yang berbentuk cair dengan jumlah yang dipakai adalah 40% dari pasta membuat aktivator berperan penting dalam membantu kelacakan beton geopolimer, sehingga tanpa tambahan *superplasticizer* pun beton geopolimer sudah memiliki kemampuan untuk *flow* atau mengalir. Pengujian *slump flow* dipilih dikarenakan campuran beton geopolimer dibuat memiliki kemampuan mengalir dengan *superplasticizer*, walaupun dalam penerapannya campuran beton geopolimer tetap memiliki kemampuan mengalir tanpa tambahan *superplasticizer* sedikitpun.

Beton geopolimer dengan *superplasticizer* yang memiliki kelacakan terbaik untuk beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan campuran *fly ash* PLTU Suralaya 1 50% dan *fly ash* PLTU Suralaya 2 50% adalah *superplasticizer* sodium glukonat dengan nilai *slump flow* 555 mm. **Gambar 2** adalah gambar hasil pengujian *slump flow*.



Gambar 2. Hasil *slump flow* beton geopolimer

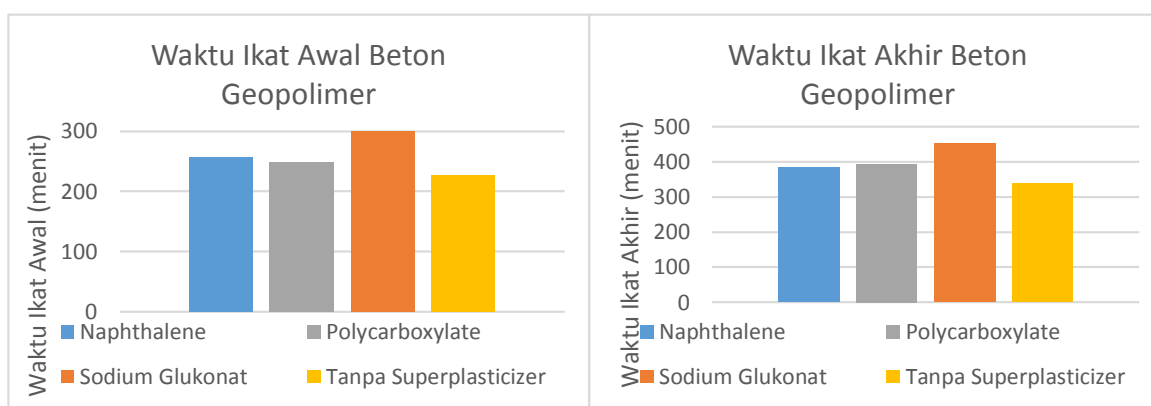
4.2 Hasil Pengujian *Setting Time* Beton Geopolimer

Pengujian *setting time* beton bertujuan untuk mengetahui waktu ikat awal dan akhir beton. waktu ikat menentukan fase plastis beton yang berguna untuk mengetahui apakah beton masih dapat digunakan ataupun tidak, karena apabila fase plastis sudah terlewati kelacakan beton akan sangat kecil sehingga pekerjaan pengecoran akan sulit dilakukan. *Superplasticizer* memiliki fungsi untuk memperlambat *setting time* beton, tetapi dengan tipe *superplasticizer*

yang berbeda akan menghasilkan *setting time* beton yang berbeda. Waktu ikat awal beton ditandai dengan ketahanan penetrasi yang didapatkan oleh mortar adalah 500 psi dan waktu ikat akhir 4000 psi. Hasil waktu ikat awal dan akhir beton dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Gambar 3**.

Tabel 5. Hasil Waktu Ikat Awal dan Waktu Ikat Akhir Beton Geopolimer

Tipe <i>Superplasticizer</i>	Waktu Ikat Awal [menit]	Waktu Ikat Akhir [menit]
<i>Naphthalene</i>	257	383
Sodium glukonat	301	452
<i>Polycarboxylate</i>	248	394
Tanpa <i>Superplasticizer</i>	226	338



Gambar 3. Grafik waktu ikat awal dan waktu ikat akhir beton geopolimer

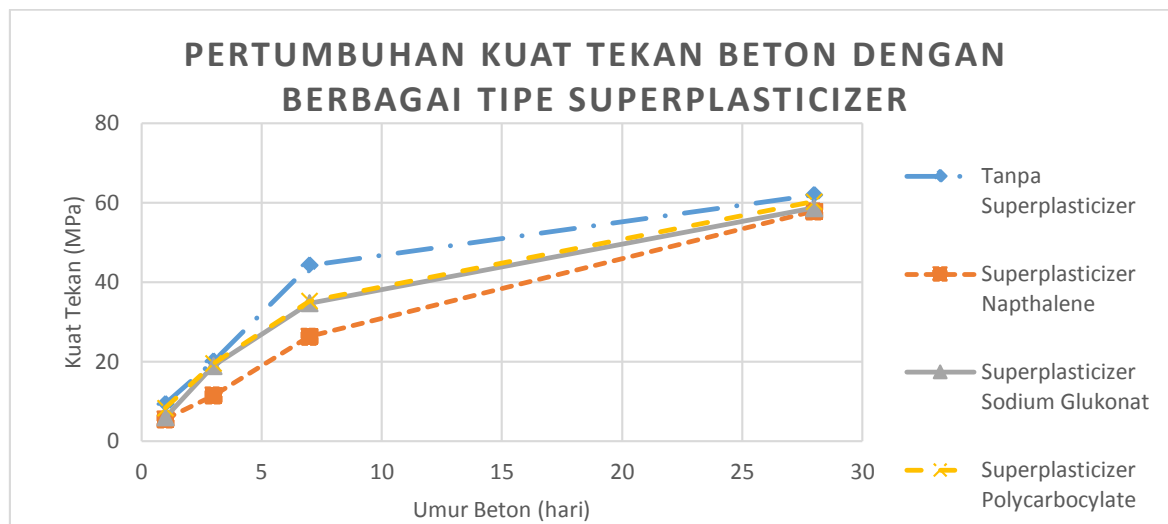
Dari **Gambar 3** terlihat bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat mempengaruhi *setting time* beton geopolimer baik waktu ikat awal ataupun waktu ikat akhir. Perbedaan waktu ikat yang signifikan antara beton geopolimer dengan *superplasticizer* dan tanpa *superplasticizer* membuktikan bahwa *superplasticizer* dapat memperlambat reaksi pengikatan yang terjadi pada beton geopolimer. Penambahan *superplasticizer* sodium glukonat dapat memperlambat *setting time* beton dari sisi waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton dalam menerima beban. Tes kuat tekan dilakukan pada umur beton 1, 3, 7, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton geopolimer dengan berbagai jenis *superplasticizer*. **Tabel 6** adalah hasil kuat tekan beton geopolimer, sedangkan **Gambar 4** adalah grafik kuat tekan beton geopolimer.

Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Beton Geopolimer untuk Umur Beton Tertentu

Jenis <i>Superplasticizer</i>	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	1 hari	3 hari	7 hari	28 hari
Tanpa <i>Superplasticizer</i>	9,3884	20,0954	44,2259	61,9628
<i>Naphthalene</i>	5,5202	11,4596	26,2963	57,8297
Sodium glukonat	5,9643	18,9136	34,6994	58,6619
<i>Polycarbocylate</i>	8,3284	19,5133	35,2417	60,2914



Gambar 4. Grafik pertumbuhan kuat tekan beton geopolimer

Dari **Tabel 6** dan **Gambar 4** terlihat bahwa beton geopolimer tanpa *superplasticizer* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton geopolimer dengan *superplasticizer*. Hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer, walaupun dengan perbedaan kuat tekan yang tidak terlalu signifikan. Hasil dari penelitian beton geopolimer yang mengalami penurunan karena penambahan *superplasticizer* ini sama seperti penelitian Kumar C., et al pada tahun 2014. Perbedaan yang signifikan pada mutu beton umur 7 hari dan perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada umur 28 hari membuktikan bahwa penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer *fly ash* PLTU Suralaya 1 50% dan *fly ash* PLTU Suralaya 2 50% dapat memperlambat beton dalam mencapai kuat tekan. Hasil kuat tekan beton yang lebih besar daripada kuat tekan rencana yaitu 30 MPa, menjadikan beton geopolimer dengan *superplasticizer* ataupun tanpa *superplasticizer* termasuk ke dalam beton dengan mutu tinggi dikarenakan kuat tekan yang didapatkan pada umur 28 hari lebih besar dari 40 MPa. Kuat tekan terbesar pada beton geopolimer umur 28 hari adalah beton geopolimer tanpa *superplasticizer* yaitu 61,9628 MPa, sedangkan untuk beton geopolimer dengan *superplasticizer* adalah *superplasticizer polycarboxylate* dengan kuat tekan beton 60,2914 MPa.

4.4 Pembahasan

Dari hasil pengujian beton geopolimer segar didapatkan bahwa *superplasticizer* tidak terlalu berpengaruh terhadap kelacakan awal beton yaitu pada saat beton selesai di *mix*. Aktivator yang berbentuk cair menjadi pengaruh utama beton mengalir atau *flow*, hal ini terbukti oleh beton geopolimer tanpa *superplasticizer* yang mengalami *flow* walaupun tidak diberi tambahan *superplasticizer*. Campuran beton geopolimer dengan *superplasticizer naphthalene* memiliki nilai *slump flow* terkecil dikarenakan campuran menjadi lebih kental. Hal ini terjadi karena jumlah persentase untuk *superplasticizer naphthalene* tidak dalam keadaan optimum, yaitu pada saat campuran beton geopolimer dengan *superplasticizer naphthalene* mendapatkan nilai *flow* yang tinggi. Pada penelitian Kumar C., et al (2014) menyatakan bahwa penambahan *superplasticizer naphthalene sulphonate* sebanyak 2% dari berat *fly ash* meningkatkan *workability* dari beton geopolimer segar. Campuran beton *superplasticizer* sodium glukonat mempunyai sifat cair seperti air, tidak ada perubahan yang berarti pada saat serbuk dicampur dengan air. *Superplasticizer* sodium glukonat yang memiliki senyawa sodium (Na) membantu aktivator dalam mereaksikan aluminium dan silika yang terdapat pada *fly ash* sehingga

Efek Tipe *Superplasticizer* terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras
pada Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash*

mempercepat reaksi pada beton geopolimer, sehingga campuran yang dihasilkan memiliki kelacakan yang lebih baik dari tipe *superplasticizer* lainnya.

Fly ash PLTU Suralaya 2 memiliki sifat untuk mengeras lebih cepat dibandingkan dengan *fly ash* PLTU Suralaya 1, tidak adanya *admixture* pada campuran beton geopolimer biasa yaitu *superplasticizer* membuat campuran tanpa *superplasticizer* memiliki waktu *setting time* yang lebih cepat dibandingkan campuran lainnya. Suhu ruangan juga mempengaruhi *setting time* yang terjadi pada beton geopolimer, oleh karena itu pengujian dilakukan di tempat yang tidak terkena matahari langsung. *Superplasticizer naphthalene* memiliki waktu ikat awal yang lebih lama dibandingkan *superplasticizer polycarboxylate*. Hal ini disebabkan persentase dari *superplasticizer naphthalene* tidak optimum menyebabkan campuran lebih lama untuk mengeras, tetapi tidak terlalu berpengaruh pada waktu ikat akhir.

Kuat tekan beton geopolimer mengalami kenaikan yang cukup tinggi pada umur 7 hari, hal ini dikarenakan reaksi pada beton geopolimer bereaksi dengan cepat sehingga kenaikan kuat tekan beton semakin meningkat sebelum akhirnya stabil. Beton geopolimer berbeda dengan beton biasa dikarenakan pencapaian persentasi kuat tekan pada beton biasa lebih cepat dibandingkan dengan beton geopolimer. Apabila beton biasa pada umur 7 hari sudah mencapai 70% kuat tekan umur 28 hari, untuk beton geopolimer baru mendapatkan 56% kuat tekan umur 28 hari. Hal ini disebabkan reaksi pengikatan pada beton geopolimer memerlukan waktu yang lebih lama. Waktu pengikatan pada beton geopolimer dimulai dari pengaktifan silika dan alumunium yang terdapat pada *fly ash* oleh aktivator sampai dengan proses pengikatan campuran beton. Diasumsikan beton geopolimer setelah umur 28 hari beton geopolimer masih meningkatkan kuat tekan beton walaupun kuat tekan yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan kuat tekan umur 56 hari. Asumsi ini dilihat dari persentasi kuat tekan beton pada umur 7 hari yang berbeda lebih dari 10% dari beton biasa, tetapi dikarenakan grafik yang sudah mulai memiliki kemiringan yang datar diakibatkan perubahan kuat tekan beton yang mulai stabil. *Superplasticizer* menghambat terjadinya proses pencapaian kuat tekan beton, dikarekan senyawa yang terdapat pada *superplasticizer* mempunyai sifat untuk memperlambat proses pengerasan pada beton geopolimer. *Fly ash*, aktivator dan katalisator merupakan komponen utama dalam menentukan kuat tekan. Apabila *fly ash* yang digunakan berbeda maka hasil kuat tekan yang didapatkan akan berbeda juga, begitu juga dengan perbandingan antara aktivator dan katalisator. Semakin tinggi perbandingan aktivator maka kuat tekan yang didapatkan akan semakin kecil, tetapi apabila katalisator terlalu banyak, kuat tekan yang didapatkan akan berkurang karena perbandingan antara aktivator dan katalisator juga memiliki titik optimum, yaitu titik dimana campuran aktivator dan katalisator dapat menghasilkan beton geopolimer dengan kuat tekan terbaik.

Superplasticizer bisa digunakan untuk menjaga kelacakan beton geopolimer dalam waktu yang lama tetapi tidak terlalu berpengaruh pada saat pencampuran baru selesai dilakukan. *Superplasticizer* juga bisa digunakan untuk memperlambat terjadinya *setting time* beton geopolimer, tetapi memperlambat beton geopolimer dalam mencapai kuat tekan. Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa *superplasticizer* sodium glukonat adalah *superplasticizer* terbaik yang dapat ditambahkan pada beton geopolimer karena beton mendapatkan kelacakan dan *setting time* yang lama, dan kuat tekan yang tidak terlalu berbeda jauh dengan beton geopolimer dengan tambahan *superplasticizer polycarboxylate* dan beton geopolimer tanpa *superplasticizer*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat menyebabkan beton geopolimer mengalami *flow*, walaupun hasilnya tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan aktivator dan katalisator berperan penting dalam membantu kelacakan beton geopolimer, sehingga tanpa tambahan *superplasticizer* pun beton geopolimer sudah memiliki kemampuan untuk *flow* atau mengalir;
2. penambahan *superplasticizer naphthalene* pada beton geopolimer dapat membuat beton geopolimer menjadi lebih kental sehingga nilai *slump flow* yang didapatkan lebih kecil;
3. penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat mempengaruhi *setting time* beton geopolimer baik waktu ikat awal ataupun waktu ikat akhir;
4. penambahan *superplasticizer* pada beton geopolimer dapat menurunkan kuat tekan beton geopolimer;
5. beton geopolimer dengan *superplasticizer* ataupun tanpa *superplasticizer* termasuk ke dalam beton dengan mutu tinggi;
6. tipe *superplasticizer* yang optimal dalam pengujian *slump flow* dan *setting time* adalah sodium glukonat, sedangkan untuk kuat tekan beton geopolimer adalah *polycarbocylate*;
7. *superplasticizer* sodium glukonat adalah *superplasticizer* terbaik yang dapat ditambahkan pada beton geopolimer.

6. SARAN

Dengan maksud peningkatan mutu dan pengembangan terhadap penelitian ini selanjutnya, disarankan hal sebagai berikut: penelitian beton geopolimer berbasis *fly ash* menggunakan *superplasticizer naphthalene* perlu dilakukan lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan reaksi *superplasticizer* terhadap kinerja *workability* beton geopolimer.

DAFTAR RUJUKAN

- Antoni., Sugiharto, Handoko. (2007). *Kompatibilitas antara superplasticizer tipe polycarboxylate dan naphthalene dengan semen lokal*. Yogyakarta: Konferensi Nasional Teknik Sipil I (KoNTekS I).
- ASTM C 1611-14 *Standard Test Method for Slump flow of Self-Consolidating Concrete*.
- ASTM C 33-16 *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C618-15 *Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., Rangan. B.V. (2005). *Studies on Fly ash-Based Geopolimer Concrete*. Perth: Curtin University Of Technology.
- Kumar, C., Murari, K., dan Sharma, C. R. (2014). Strength Characteristics of Low Calcium Fly ash Based Geopolymer Concrete. *International Organization of Scientific Research (IOSR) Journal of Engineering* (2014). ISSN (e) 2250-3021, ISSN (p) 2278-8719.
- SNI 03 2847 2002 *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 03 1974 2011 *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- SNI ASTM C403/C403M:2012 *Metode Uji Waktu Pengikatan Campuran Beton dengan Ketahanan Penetrasi*.
- Sukirman, S. (2012). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Wallah, S., and Rangan, B.V. (2006). Low-Calcium Fly ash-Based Geopolimer Concrete: Long-Term Properties. *Research Report GC 2*. Australia: Curtin University of Technology. <http://www.theconcreteportal.com/compat.html> (04 Februari 2016)