

# ANALISA BIAYA PEMANFAATAN *FLY ASH* SEBAGAI MATERIAL DASAR BETON *SELF COMPACTING GEOPOLYMER*

Chichilya S. P. Sondakh<sup>1)</sup>, Stevanny Gumalang<sup>2)</sup>, dan Mickson Pinori<sup>1)</sup>

1) Teknik Sipil, Universitas Prisma, Manado, Sulawesi Utara

2) Teknik Sipil, Manado, Sulawesi Utara

[Chichilya.s.p.sondakh@gmail.com](mailto:Chichilya.s.p.sondakh@gmail.com)

## ABSTRACT

*The vibratory compaction process to obtain high-quality concrete has difficulties when faced with complex structural models. In the last few decades, research and development of self-compacting concrete (SCC) has been carried out. The application of SCC in Indonesia is still limited because the manufacturing costs are quite high. The composition of cement in SCC is more than conventional concrete, which means it causes higher air pollution. The amount of cement production is directly proportional to the amount of CO<sub>2</sub> released into the atmosphere, so the world cement industry makes a major contribution to global greenhouse gas emissions. Several studies have begun to innovate combining SCC and overall cement replacement technology with a pozzolanic material that has cement-like characteristics. One of the alternative materials to replace Portland cement is fly ash, which is a waste material from burning coal in the PLTU. For fly ash to bind like cement, an activator is needed. The mixture of fly ash and activator is known as geopolymer paste, so the combination of these two concrete technologies is called geopolymer self-compacting concrete with fly ash as a base material. In Indonesia, geopolymer self-compacting concrete is still limited in the mix design testing phase, so the authors are interested in knowing the economic review of this type of concrete, and intend to analyze the cost of production of this geopolymer self-compacting concrete using local materials, fly ash from PLTU II Amurang, North Sulawesi Province. The study began with an examination of local materials in North Sulawesi for a concrete mix design. Followed by conducting experimental testing to get the characteristics of fresh concrete and the compressive strength of the concrete. Furthermore, analysis of production costs based on mix-design for 1 m<sup>3</sup> of concrete. The workability test of the fresh geopolymer self-compacting concrete with fly ash as a base material through the slump flow method, V-funnel test, and L-Box Shaped test shows that it qualifies the SCC requirements and also produces K-250 quality of concrete. Geopolymer concrete combined with SCC concrete, which has a relatively high cost, results in high production costs of Geopolymer Self Compacting Concrete.*

Keywords: production cost, fly ash, geopolymer self-compacting concrete

## ABSTRAK

*Proses pemadatan dengan vibrasi untuk mendapatkan beton yang berkualitas memiliki kesulitan ketika diperhadapkan dengan model struktur yang kompleks. Sehingga beberapa dekade terakhir telah dilakukan penelitian dan pengembangan beton yang bisa memadat sendiri, yang dikenal dengan nama self-compacting concrete (SCC). Pengaplikasian SCC di Indonesia masih terbatas karena biaya pembuatannya yang cukup tinggi. Komposisi semen pada beton SCC lebih banyak dari beton konvensional yang artinya menimbulkan polusi udara lebih tinggi. Jumlah produksi semen berbanding lurus dengan jumlah CO<sub>2</sub> yang dilepas ke atmosfer, maka industri semen dunia memberikan kontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca global. Beberapa penelitian mulai berinovasi mengkombinasikan SCC dan teknologi penggantian semen secara keseluruhan dengan material pozzolan yang memiliki karakteristik seperti semen. Salah satu alternatif material pengganti semen portland adalah fly ash yang merupakan material buangan pembakaran batu bara di PLTU. Agar Fly ash bisa mengikat seperti semen diperlukan aktivator. Campuran fly ash dan aktivator dikenal sebagai semen geopolimer, sehingga kombinasi dua teknologi beton ini disebut beton self compacting geopolymer dengan material dasar fly ash. Di Indonesia, beton self compacting geopolymer masih terbatas dalam tahap pengujian mix design, sehingga penulis tertarik mengetahui tinjauan ekonomis beton jenis ini, dan bermaksud menganalisa biaya pembuatan beton self compacting geopolymer ini menggunakan material lokal, fly ash dari PLTU II Amurang, Sulawesi Utara. Penelitian dimulai dengan pemeriksaan material lokal di Sulawesi Utara untuk mencari mix-design beton. Dilanjutkan dengan melakukan pengujian experimental untuk mendapatkan karakteristik kelecakan beton segar dan kuat tekan beton. Selanjutnya dilakukan analisis biaya produksi berdasarkan mix-design per 1 m<sup>3</sup> beton. Pengujian kelecakan dari pasta Beton Self Compacting Geopolymer dengan material dasar fly ash melalui metode slump flow, V-funnel test dan L-Box Shaped test menunjukkan bahwa sudah memenuhi syarat SCC juga menghasilkan beton mutu K-250. Beton geopolimer dikombinasikan dengan beton SCC yang biayanya memang sudah relatif tinggi menghasilkan biaya pembuatan yang juga tinggi.*

**Kata kunci:** biaya produksi, fly ash, self-compacting geopolymer

## 1 PENDAHULUAN

Era revolusi industri 4.0 memicu pertumbuhan di berbagai bidang. Pertumbuhan populasi, industrialisasi dan urbanisasi turut meningkatkan permintaan infrastruktur. Bentuk-bentuk elemen struktur yang semakin modern memberi kebebasan arsitek berkreasi. Hal ini menuntut inovasi dalam pelaksanaan proyek konstruksi, dimana bentuk-bentuk struktur modern khususnya beton bertulang bergantung pada pemadatan. Pemadatan beton yang baik menghasilkan struktur yang bermutu tinggi karena didukung sifat beton yang berkualitas dari segi kekuatan tekan, porositas maupun permeabilitasnya. Namun tak dapat dipungkiri proses pemadatan dengan vibrasi juga memiliki kesulitan ketika diperhadapkan dengan model struktur yang kompleks. Sehingga beberapa dekade terakhir telah dilakukan penelitian dan pengembangan beton memadat sendiri atau *Self Compacting Concrete* (SCC). SCC mulai diperkenalkan pada tahun 1990-an di Jepang dan berkembang ke banyak negara termasuk Indonesia. Pengaplikasian SCC di Indonesia sudah ada namun masih terbatas karena biaya pembuatan SCC yang cukup tinggi.

Komposisi semen pada beton SCC lebih banyak dari beton konvensional

(Okamura & Ouchi, 2003) yang artinya menimbulkan polusi udara lebih tinggi. Menurut Davidovits (1991), jumlah produksi semen berbanding lurus dengan jumlah CO<sub>2</sub> yang dilepas ke atmosfer, maka industri semen dunia memberikan kontribusi sebesar 11.73% dari total emisi gas rumah kaca global (35.8 Gigaton) di tahun 2016 (UNEP, 2017). Terjadi peningkatan dibanding data tahun 2005 yang hanya sebesar 7% (Naik, 2005).

Beberapa penelitian mulai berinovasi mengkombinasikan SCC dan teknologi penggantian semen secara parsial maupun keseluruhan dengan material *pozzolan* yang memiliki karakteristik seperti semen. Salah satu alternatif material pengganti semen portland adalah *fly ash* yang merupakan material buangan pembakaran batu bara di PLTU. Agar *Fly ash* bisa mengikat seperti semen diperlukan aktivator. Campuran *fly ash* dan aktivator dikenal sebagai semen geopolimer, sehingga kombinasi dua teknologi beton ini disebut beton *Self Compacting Geopolymer*- Berbasis *fly ash* (SCG-FA).

Di Indonesia, beton *Self Compacting Geopolymer* masih terbatas dalam tahap pengujian *mix design*, sehingga penulis tertarik mengetahui tinjauan ekonomis beton jenis ini, dan bermaksud menganalisa biaya pembuatan beton *Self Compacting*

*Geopolymer* ini menggunakan material lokal, *fly ash* dari PLTU II Amurang, Sulawesi Utara.

## 2 KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Beton *Self Compacting*

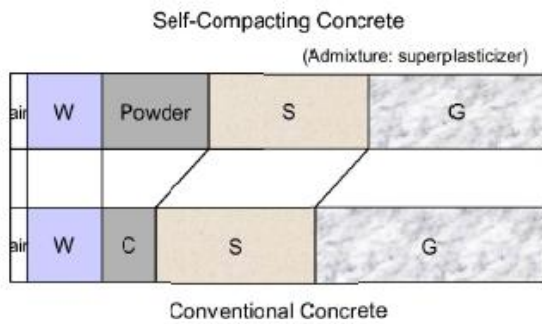
Definisi beton *Self Compacting* menurut Sugiharto dan Kusuma (2001) adalah beton yang tidak memerlukan alat pemadat dalam pencampurannya karena dapat mencapai kepadatannya sendiri. Campuran beton *Self Compacting* diatur dengan komposisi agregat kasar, agregat halus, semen dan bahan tambahan sedemikian rupa hingga memperoleh kekentalan tertentu yang memungkinkan beton segar mengalir sendiri mengisi ruang, bahkan diantara tulangan yang rapat dengan seminimal mungkin bahkan tanpa penggunaan alat pemadat. Komposisi yang tepat dengan pengaturan gradasi agregat dipadu dengan kombinasi dari material, seperti penggunaan semen yang lebih banyak merupakan cara untuk memenuhi syarat-syarat dari beton jenis ini (Herbudiman & Siregar, 2013).

Beton *Self Compacting* merupakan konsep terobosan yang menghasilkan beton dengan kemampuan mengalir yang baik namun tetap bermutu tinggi. Beton *Self Compacting* dapat mengalir kesetiap sudut ruang, memberikan permukaan yang rata

dan padat tanpa mengalami segregasi dan *bleeding*. Beton *Self Compacting* juga memberikan solusi untuk masalah pengecoran struktur bertingkat karena kemampuan mengalirnya memberikan kemudahan saat pemompaan ke posisi yang lebih tinggi. Bukan hanya sifat beton segar yang baik dalam pengerjaannya tapi beton *Self Compacting* yang telah mengeras juga memiliki sifat-sifat yang mumpuni seperti porositas rendah yang memberikan beton berkekuatan tinggi, kemampuan kedap air yang tinggi, deformasi susut yang rendah dan keawetan jangka panjang yang lebih baik (Mariani, Sampebulu, & Ahmad, 2009).

Di Jepang dan negara-negara maju lainnya, beton *Self Compacting* telah mulai diaplikasikan sejak tahun 1988 dan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Di negara kita Indonesia, beton *Self Compacting* telah diaplikasikan pada struktur-struktur besar contohnya di tahun 2007 kemarin digunakan beton *Self Compacting* dengan mutu 60 MPa pada jembatan Grand Wisata (*Cable Stayed*) di Bekasi, Jawa Barat (Mariani et al., 2009).

Okamura & Ouchi (2003) memberikan *prototype* yang lengkap dari *self compacting concrete* dengan modal perbandingan SCC dan beton konvensional seperti pada Gambar 1.



Ket: W= Air, C= Semen, S= Pasir, G= Kerikil

**Gambar 1. Perbandingan Proporsi Campuran antara SCC dan Konvensional**  
(Sumber: Okamura & Ouchi, 2003)

Faktor Air-Semen (FAS) pada beton umumnya digunakan untuk mendapatkan kekuatan sedangkan pada beton *Self Compacting* FAS digunakan untuk mendapatkan sifat beton segar agar memenuhi syarat beton jenis ini, sedangkan kekuatan hanya sebagai kontrol kualitas beton.

## 2.2 Fly Ash

*Fly ash* adalah produk sampingan dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. Produk sisa pembakaran batu bara dipisahkan, yang halus dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel dalam bentuk semburan disebut *fly ash*, sebagian besar sisa pembakaran yang keluar dari zona ini dapat ditangkap system elektrostatik precipitator. Sisa residu lain yang lebih berat jatuh ke dasar tungku yang kemudian disebut *bottom ash* (Thomas, 2007).

Bentuk fisik *fly ash* berupa butiran halus, bulat dan ukuran butiran ( $45\mu\text{m}$ ) yang lebih kecil dari pada butiran semen ( $75\mu\text{m}$ ), tidak berpori dan sangat ringan dengan karakteristik seperti semen.

*Fly ash* juga bersifat pozzolanik yang dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan dengan adanya air pada temperatur normal membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Suprpto & Mardiono, 2010; Agustini & Aryastana, 2017).

Ukuran *fly ash* yang lebih kecil dari pada ukuran butiran semen akan memperkecil ruang antar partikel sehingga dapat meningkatkan kelecakan pasta beton (Muthoharoh, Agustin, & Sunarnasih, 2014).

*Fly ash* dari batubara umumnya dibuang di *ash lagoon* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukan ini menimbulkan masalah bagi lingkungan, selain mudah beterbangan dan mengotori udara, partikel-partikel logam berat yang dikandungnya dengan mudah larut dan mencemari sumber-sumber air (Hardjito, 2002).

## 2.3 Beton Geopolimer

Geopolimer merupakan hasil proses polimerisasi bahan-bahan yang berasal dari alam bukan organik yang banyak

mengandung unsur-unsur silikon dan aluminium. Silikon dan Aluminium dapat ditemukan pada material buangan hasil sampingan industri, seperti *fly ash* dari sisa pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap.

Proses geopolimerisasi dapat mengurai partikel logam berat dari *fly ash* dengan bantuan larutan alkali. Reaksi kimia pengikatan unsur alumina-silikat oksida dengan alkali polisilikat dapat menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al, yang selanjutnya disebut material geopolimer. Material geopolimer mempunyai kemampuan mengikat seperti pasta semen. Beton geopolimer merupakan paduan material geopolimer yang dicampur dengan agregat tanpa menggunakan semen. Biaya produksi beton geopolimer bisa setara dengan produksi beton konvensional, namun jika dibandingkan dengan beton polimer organik biayanya bisa jauh lebih murah (Hardjito, 2002).

### 3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini untuk mengetahui potensi pemanfaatan limbah batubara (*fly ash*) dari PLTU II Amurang sebagai material dasar beton *self compacting geopolymer*. Penelitian dimulai dengan pemeriksaan material lokal di Sulawesi Utara untuk mencari *mix-design* beton *self*

*compacting geopolymer*. Dilanjutkan dengan melakukan pengujian experimental untuk mendapatkan karakteristik kelecakan beton segar dan kuat tekan beton. Selanjutnya dilakukan analisis biaya produksi berdasarkan *mix-design* per 1 m<sup>3</sup> beton. Hasil akhir dari penelitian ini, diharapkan dapat memperoleh potensi pengaplikasian beton *self compacting geopolymer* dalam pembangunan infrastruktur di Sulawesi Utara. Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung terhadap eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Komposisi *Fly Ash* PLTU II Amurang

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU II Amurang, Sulawesi Utara. Setelah dilakukan pengujian melalui analisis X-Ray Fluorescence dapat dilihat bahwa *fly ash* ini didominasi oleh oksida SiO<sub>2</sub> 38.8%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.9% dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 36.8%. Gabungan ketiga oksida tersebut lebih dari 70%, diperkuat pengecekan kandungan Kalsium 3.5% < 10% menunjukkan *fly ash* ini memenuhi syarat klasifikasi ASTM C618-05 (Anonim, 2005) dan ACI 232.2R-96 (Anonim, 2002) sebagai *fly ash* rendah kalsium kelas F.

## 4.2 Hasil Pengujian Keleccakan Beton Self Compacting Geopolymer

Hasil pengujian keleccakan menggunakan 3 metode secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Keleccakan Beton Self Compacting Geopolymer**

No.	Metode	Parameter	Hasil	Spesifikasi SCC
1	Slump Flow	SF <sub>max</sub> (mm)	560-720	550 – 850
2	V-Funnel Test	T (det)	8.8-10.5	8 – 12
3	L-Shaped Test	H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	0.83-0.89	0.8-1.0

Metode *slump flow* dilakukan untuk menguji kemampuan mengalir dari pasta beton *Self Compacting Geopolymer* dan ditemukan rata-rata nilai SF<sub>max</sub> 560 sudah memenuhi syarat spesifikasi khusus Interim Kementerian PUPR tentang SCC (2017) yaitu 550 – 850 mm (Anonim, 2017).

Metode *V-Funnel* dilakukan untuk menguji kekentalan dan kemampuan mengisi pasta beton *Self Compacting Geopolymer* dan diperoleh nilai kisaran 8.8 – 10.5. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat viskositas campuran berada pada kondisi *moderate*, yaitu tidak encer ataupun tidak terlalu kental, baik dalam pengerjaan beton.

Metode *L-shaped box* dilakukan untuk mendapatkan rasio *blocking* H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub>, dan didapatkan rasio *blocking* sekitar 0.83 –

0.89. Semakin mendekati 0.8 menunjukkan kekentalan semakin tinggi yang berarti kemungkinan terjadinya *blocking* makin besar, semakin mendekati 1 menunjukkan kekentalan makin rendah dan pengalirannya semakin mendekati karakteristik air.

Melihat hasil dari tiga metode pengujian di atas dapat dikatakan bahwa komposisi campuran yang digunakan merupakan campuran beton geopolimer yang dapat memadat sendiri (*self compacting*).

## 4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton Self Compacting Geopolymer

Berdasarkan mix design para peneliti sebelumnya, kemudian dilakukan beberapa tahapan eksperimen untuk menentukan komposisi campuran beton *Self Compacting Geopolymer* pada penelitian ini. Komposisi campuran beton *Self Compacting Geopolymer* dengan material dasar *fly ash* direncanakan sebagai berikut, mengacu pada panduan *mix design* dari Ahmed, Nuruddin, & Shafiq (2011), Gumalang, Wallah, & Sumajouw (2016), dan Sondakh & Gumalang (2020) dimana hasil eksperimen sebagai berikut: *Fly ash* Kelas F kondisi OD, pasir dan kerikil kondisi SSD, Rasio larutan alkali terhadap *fly ash* 0.8 dengan konsentrasi NaOH 14 Molar, Rasio tambahan air terhadap *fly ash*

0.25, tambahan *Viscocrete-10* sebesar 3%. Perawatan beton melalui *elevated temperature* di oven pada suhu 70°C selama 48 Jam. Kuat tekan yang dihasilkan dengan komposisi campuran di atas dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Kekuatan Tekan Beton *Self Compacting Geopolymer***

No. Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)
1	19.12
2	20.57
3	21.29
4	20.95
Kuat Tekan Rata-rata	20.48

Komposisi campuran beton seperti tersebut di atas menghasilkan pasta beton yang memenuhi syarat kelecakan SCC, juga menghasilkan kekuatan tekan beton mutu K-250. Sehingga pada komposisi ini, bisa dikategorikan beton *Self Compacting Geopolymer*.

#### 4.4 Analisis Biaya

Setelah mengetahui sifat karakteristik beton geopolimer memadat sendiri, maka dibuat perbandingan harga terhadap beton SCC dan beton geopolimer berdasarkan harga material lokal di Sulawesi Utara.

Harga *Fly Ash* = Gratis

Harga Semen Portland = Rp.1,333.47/kg

Harga Kerikil = Rp.197.60/kg

Harga Pasir = Rp.225.32/kg

Harga NaOH = Rp.10,000.00/kg

Harga Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> = Rp.12,000.00/kg

Harga Superplasticizer = Rp.44,000.00/kg

**Tabel 3. Perhitungan Biaya Pembuatan Beton SCC**

Material	Berat (Kg/m <sup>3</sup> )	Harga (Rp)
Semen	525	700,071.75
Air	378	0.00
Pasir	700	157,725.83
Kerikil	450	88,920.00
Fly Ash	0	0.00
NaOH	0	0.00
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0	0.00
SP	13.125	577,500.00
Jumlah		1,524,217.58

**Tabel 4. Perhitungan Biaya Pembuatan Beton Geopolimer**

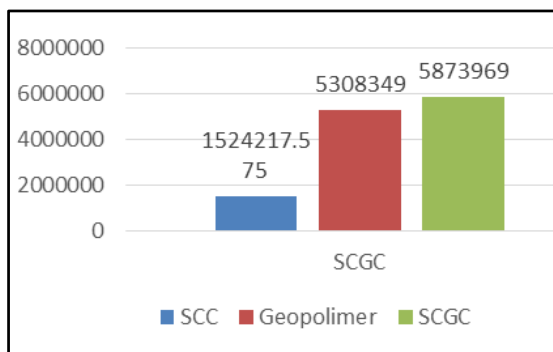
Material	Berat (Kg/m <sup>3</sup> )	Harga (Rp)
Semen	0	0.00
Air	143	0.00
Pasir	850	191,524.20
Kerikil	998	197,204.80
Fly Ash	476	0.00
NaOH	109	1,090,000.00
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	272	3,264,000.00
SP	12.855	565,620.00
Jumlah		5,308,349.00



**Tabel 5. Perhitungan Biaya Pembuatan Beton *Self Compacting Geopolymer***

Material	Berat (Kg/m <sup>3</sup> )	Harga (Rp)
Semen	0	0.00
Air	257,1	0.00
Pasir	850	191,534.20
Kerikil	998	197,204.80
Fly Ash	476	0.00
NaOH	109	1,090,000.00
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	272	3,264,000.00
SP	25.71	1,131,240.00
Jumlah		5,873,969.00

Komposisi beton SCC berdasarkan hasil penelitian lokal Alil, (2009), komposisi beton geopolimer berdasarkan penelitian Manuahe, Sumajouw, & Windah (2014), sedangkan komposisi beton *Self Compacting Geopolymer* merupakan hasil penelitian pustaka dan eksperimen dari peneliti sendiri. Rekapitulasi perhitungan biaya pembuatan setiap jenis beton per 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Perbandingan Biaya Pembuatan Beton per 1 m<sup>3</sup>**

Dari Gambar 2 bisa dilihat bahwa Beton geopolimer dikombinasikan dengan beton SCC yang biayanya memang sudah relatif tinggi (Panuntun, 2019) menghasilkan biaya pembuatannya juga tinggi karena *Alkalin Aktivator* yang digunakan sebagai pengikat *Fly Ash* menggunakan harga retail dan rasio *Superplasticizer* yang tinggi juga memberikan pengaruh terhadap total biaya.

Analisa biaya di atas hanya dibatasi pada biaya pembuatan betonnya saja, namun jika ditinjau secara keseluruhan akan menaikkan nilai ekonominya karena SCC sendiri diklaim bisa mempercepat durasi proyek, mengurangi jumlah tenaga kerja, mengurangi kebutuhan alat memudahkan pekerjaan konstruksi di lapangan sekaligus mereduksi polusi suara yang diakibatkan mesin Vibrator (Panuntun, 2019). Sedangkan penggantian parsial semen maupun secara keseluruhan dengan material lain seperti *Fly Ash* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kelestarian lingkungan hidup (Naik, 2005).

## 5 SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan di dapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian kelecakan dari pasta Beton *Self Compacting Geopolymer* dengan material

dasar *fly ash* melalui metode *slump flow*, *V-funnel test* dan *L-Box Shaped test* menunjukkan bahwa sudah memenuhi syarat Spesifikasi Khusus Interim Kementerian PUPR tentang SCC.

2. *Mix design* Beton *Self Compacting Geopolymer* dengan material dasar *fly ash* pada penelitian ini menghasilkan beton mutu K-250.
3. Beton geopolimer dikombinasikan dengan beton SCC yang biayanya memang sudah relatif tinggi menghasilkan biaya pembuatan yang juga tinggi.

Sebagai tindak lanjut penelitian ini disarankan agar dilakukan analisa biaya ditinjau secara keseluruhan dengan mempertimbangkan keuntungan yang diberikan beton jenis ini seperti percepatan durasi proyek, pengurangan jumlah tenaga kerja, pengurangan kebutuhan alat dan nilai ekonomi dari reduksi polusi suara yang diakibatkan mesin vibrator juga nilai dampak terhadap kelestarian lingkungan hidup.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N. K. A., & Aryastana, P. (2017). Pengaruh Penambahan Abu Sekam dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan dan Berat Jenis Beton. *PADURAKSA*, 6(2), 190–202.
- Ahmed, M. F., Nuruddin, M. F., & Shafiq, N. (2011). Compressive Strength and Workability Characteristics of Low-Calcium Fly ash-based Self-Compacting Geopolymer Concrete. *International Journal of Architectural, Civil and Construction Sciences*, 5(2), 64–70. <https://doi.org/doi.org/10.5281/zenodo.1330481>
- Alil, I. (2009). *Sifat Mekanis Lightweight Self Compacting Concrete*.
- Anonim. (2002). *ACI 232.2R-96 Use of Fly Ash in Concrete*. Pennsylvania: The America Concrete Institute.
- Anonim. (2005). *ASTM C618-05 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Michigan: ASTM International.
- Anonim. (2017). *Spesifikasi khusus interim SKh-1.7.23.4: Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers. *Journal of Thermal Analysis*, 37(8), 1633–1656. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- Gumalang, S., Wallah, S. E., & Sumajouw, M. D. . (2016). Pengaruh Kadar Air dan Superplasticizer pada Kekuatan dan Keleccakan Beton Geopolimer Memadat Sendiri. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 6(3), 574–582.
- Hardjito, D. (2002). No Title. Retrieved from <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0210/21/iptek/beto45.htm>
- Herbudiman, B., & Siregar, S. E. (2013).

- Kajian Interval Rasio Air-Powder Beton Self Compacting Terkait Kinerja Kekuatan dan Flow. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 UNS*, M1–M8.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang (fly ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Mariani, Sampebulu, V., & Ahmad, A. G. (2009). Pengaruh Penambahan Admixture terhadap Karakteristik Self Compacting Concrete (SCC). *Jurnal SMARTek*, 7(3), 176–183.
- Muthoharoh, I., Agustin, R. S., & Sunarnasih, E. S. (2014). *Self Healing Capability Beton dengan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen ditinjau dari Workability, Kuat Tekan dan Permeabilitas*. Thesis, Department of Engineering and Vocational Science, UNS.
- Naik, T. R. (2005). Sustainability of Cement and Concrete Industries. In *Achieving Sustainability in Construction* (pp. 141–150). Thomas Telford Publishing. <https://doi.org/10.1680/asic.34044.0017>
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>
- Panuntun, P. B. (2019). *Self Compacting Concrete (SCC) sebagai Standar Beton Masa Depan. Bunga Rampai Knowledge Management Penerapan Teknologi Konstruksi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Dirjen Bina Konstruksi.
- Sondakh, C., & Gumalang, S. (2020). The processing, properties and optimum mix of fly ash based - self compacting geopolymer concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419, 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012067>
- Suprpto, H., & Mardiono. (2010). Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dalam Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 9(1).
- Thomas, M. (2007). *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Washington DC: Portland Cement Association.
- UNEP. (2017). *The Emissions Gap Report 2017*. Nairobi: United Nations Environment Programme.