

EFEKTIVITAS SUPERPLASTICIZER TERHADAP WORKABILITAS DAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER

Herwani¹, Iswandi Imran², Bambang Budiono³, Ivindra Pane⁴, Ediansjah Zulkifli⁵, dan Elvira⁵

¹Program Studi Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

^{1,6}Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil

Universitas Tanjungpura Pontianak, Indonesia

^{2,3,4,5}Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

e_mail : herwani@civil.untan.ac.id

Abstrak — Beton Geopolimer merupakan beton yang tersusun dari campuran agregat kasar dan halus tanpa pengikat semen Portland (OPC). Sebagai penggantinya, digunakan pengikat dari bahan yang banyak mengandung silika dan alumina seperti fly ash. Analog dengan beton yang berbasis semen Portland, beton geopolimer juga menjadi kurang sempurna jika campuran beton segar mempunyai konsistensi yang tinggi dan bersifat kental (kaku) sehingga sulit untuk dikerjakan (workabilitas rendah). Penambahan Superplastisizer menjadi salah satu cara untuk meningkatkan workabilitasnya. Dalam makalah ini digunakan superplastisizer yang berbasis naphthalene dengan dosis 0%, 1.5%, dan 2%. Molaritas larutan NaOH yang digunakan sebagai aktivator alkalin adalah 8 M, 10 M, 12 M, dan 14 M dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1.5$. Dari hasil pengujian diketahui bahwa pengaruh superplastisizer yang berbasis naphthalene cukup efektif untuk memperbaiki workabilitas beton geopolimer. Beton segar menjadi lebih encer dan mudah dilakukan pematatan saat di tuang ke dalam cetakan. Superplastisizer juga mampu meningkatkan kekuatan beton geopolimer namun besaran hanya mencapai 5.42%. Dosis Superplastisizer akan optimum pada persentase 1.5% terhadap berat fly ash dengan kuat tekan mencapai 31.63 MPa dan nilai slump antara 8-10 cm. Molaritas larutan NaOH yang baik untuk rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1.5$ adalah 8 M.

Kata kunci : Workabilitas, kuat tekan, Superplastisizer, molaritas NaOH, fly ash.

Abstract — Geopolymer concrete consists of a mixture of coarse and fine aggregates without Portland cement binder (OPC). Instead, binder of materials containing a lot of silica and alumina are used, such as fly ash. Analog with Portland cement based concrete, geopolymer concrete is less than perfect if the fresh concrete mixture has high consistency and is thick, so it is difficult to work. Addition of Superplasticizer is one way to improve workability. In this paper Naphthalene-based superplasticizers are used with dosages of 0%, 1.5%, and 2%. The molarity of NaOH solution used as an alkaline activator was 8 M, 10 M, 12 M, and 14 M with a ratio of $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 1.5$. The test results show that Naphthalene-based superplasticizers effective to improve the workability of geopolymer concrete. Fresh concrete is more watery and is easy to compaction when poured into the mold. The superplasticizer is also able to increase the geopolymer concrete compressive strength reaching 5.42%. The Superplasticizer dosage will be optimal at 1.5% percentage of fly ash with compressive strength reaching 31.63 MPa and slump value between 8-10 cm. Good molarity of NaOH solution for the ratio $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 1.5$ is 8M.

Keywords: Workability, compressive strength, Superplasticizer, molarity of NaOH, fly ash

I. PENDAHULUAN

Beton Geopolimer adalah jenis beton yang sepenuhnya tidak menggunakan semen Portland (Partogi, et. al, 2015). Fly ash hasil pembakaran batubara merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai pengikat dalam campurannya (Siyal A A, et al 2016). Beton geopolimer ini terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa (Davidovits,1985). Sifat dan karakteristik

yang paling mengesankan adalah bahwa beton geopolimer memiliki kuat tekan dan durabilitas yang tinggi (Hardjito and Rangan, 2005; Duxon et al, 2007; Partogi et al. 2015). Untuk memperoleh beton geopolimer yang baik, jenis aktivator disesuaikan dengan senyawa yang terkandung dalam fly ash. Komposisi yang tepat sangat diharapkan agar terjadi reaksi kimia secara sempurna. Aktivator yang umum digunakan adalah Sodium Hidroksida (NaOH) 8

M sampai 14 M dan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito and Rangan, 2005).

Sifat fisik *fly ash* terkait erat dengan peralatan pembakaran, kondisi dan teknik pembakaran. Sedangkan sifat kimia dan komposisinya tergantung dari sumber batubara dan suhu pembakaran [Antoni I, 2016 ; M.Thomas, 2007]. Pada umumnya, *fly ash* dapat dibagi dalam dua kelas berdasarkan sumber batubara yaitu Kelas F dan C (ASTM C618, 2008). Fly ash Kelas F jika menggunakan batubara jenis Anthracite atau Bituminous. Jenis ini mengandung oksida CaO kurang dari 10% dan jumlah ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 70%. Fly ash Kelas C jika menggunakan batubara jenis Lignite atau Sub-Bituminous. Jenis ini mengandung oksida CaO lebih dari 10% dan jumlah ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lebih dari 50%. Oleh karena itu, sumber *fly ash* yang berbeda dapat menghasilkan karakteristik fasa solidifikasi geopolimer berbeda pula tergantung sifat fisik dan kimianya (Herwani,2017).

Jenis fasa solidifikasi dalam teknologi material bangunan teknik sipil dikategorikan menjadi 3 fasa yaitu fasa pasta, fasa mortar, dan fasa beton (Partogi, et. al, 2015). Berdasarkan proses pembuatan dan material penyusunnya maka ketiga fasa tersebut dapat di definisikan sebagai berikut: Pertama adalah Fasa pasta geopolimer yaitu campuran alkali aktivator dengan material dasar. Kedua dinamakan fasa mortar geopolimer yaitu campuran pasta geopolimer dengan sejumlah agregat halus (pasir), selanjutnya campuran mortar geopolimer dengan sejumlah agregat kasar (batu pecah) disebut dengan fasa beton geopolimer.

Analog beton berbasis semen Portland, Beton Geopolimer yang baik akan tercapai apabila konsistensi dan workabilitas campuran beton segar juga baik. Jika campuran mempunyai konsistensi tinggi maka campuran akan bersifat kaku (kental) sehingga pengerjaan, penuangan dan pemadatan kedalam cetakan menjadi lebih sulit. Akibatnya beton menjadi keropos serta adukan menjadi tidak homogen. Kondisi ini akan menyebabkan mutu beton menjadi berkurang tidak sesuai rencana. Kondisi ini dapat di atasi dengan penambahan bahan kimia superplastisizer kedalam campuran dengan kadar tertentu. Penambahan superplastisizer (SP)

hingga mencapai 2% dapat meningkatkan workabilitas campuran beton geopolimer segar, sedangkan kadar SP 1.5% adalah komposisi optimum pada rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 2.5$ dengan konsentrasasi NaOH 12 M (Triwulan, 2016). Behzad Nematollahi menyatakan bahwa superplatisizer yang paling efektif untuk meningkatkan workabilitas dan kuat tekan beton geopolymer adalah SP yang berbasis *naphthalene* (Behzad, 2014). Analog dengan Behzad, penelitian lain yang dilakukan Jiting Xie terhadap beberapa jenis Superplastisizer yang berbasis *Naphthalene* dan *Polycarboxylate* juga menghasilkan SP berbasis *Naphthalene* lebih efektif digunakan pada beton geopolymer (Jiting Xie, 2015).

Kuantifikasi jumlah superplastisizer tentunya akan sangat membantu untuk menentukan persentasi yang optimum agar beton mempunyai kelecakan (konsistensi) yang baik dan mudah dikerjakan agar tidak terjadi keropos. Pada makalah ini, indikator yang digunakan adalah nilai slump dan kuat tekan setiap adukan beton. *Slump* yang diinginkan yaitu masuk pada interval 8 – 12 cm dengan kuat tekan $f_c' = 30$ MPa. Jenis superplastisizer digunakan yang berbasis *naphthalene* dengan persentasi 0%, 1.5%, dan 2 % terhadap berat *fly Ash*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Material penyusun Beton geopolimer yang digunakan diambil dari kueri setempat. Agregat halus menggunakan pasir Cimalaka Klasifikasi gradasi pasir lolos saringan 4.75 mm (Herwani, 2017). Material dasar yang berfungsi sebagai pengikat digunakan *Fly ash* dari limbah PLTU Suryalaya. Untuk mengaktivasi unsur silika dan alumina serta unsur lain yang terkandung dalam *fly ash*, digunakan larutan alkali. Natrium hidroksida dan Natrium Sulfat merupakan alkali yang dipilih sebagai aktivator dalam campuran pasta geopolimer. Natrium hidroksida diperoleh dari toko bahan kimia berbentuk serpihan berwarna putih. Demikian juga dengan Natrium Sulfat, cairan ini dapat diperoleh dari toko bahan kimia dalam kemasan botol jerigen, atau drum. Sebelum dicampur untuk membentuk pasta geopolimer, Natrium Hidroksida terlebih dahulu dilarutkan sesuai konsentrasi yang diinginkan. Pengujian XRF (*X-ray fluorescence spectroscopy*) dilakukan untuk

mengetahui kandungan mineral *fly ash*. Adapun komposisi kandungan unsur yang ada di *fly ash* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi kandungan kimia *fly ash* Suryalaya (dalam % terhadap berat)

Fly Ash	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	LoI
Spec .A	42.29	17.41	12.10	10.47	7.39	1.38	6.15
Spec .B	41/91	17.21	12.01	10.39	7.31	1.48	5.86
Spec .C	42.25	17.48	11.88	10.34	6.91	1.43	6.26

III. METODE PENELITIAN

Disain Campuran Beton Geopolimer

Pemeriksaan karakteristik agregat halus maupun agregat kasar dilakukan sebelum membuat disain campuran. Analisis saringan dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Selain analisa saringan, dilakukan juga pemeriksaan terhadap berat jenis, serapan air, kadar lumpur, kadar organik dan berat volume. Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus diperoleh 19.2%, sehingga perlu dilakukan pencucian sebelum digunakan pada beton. Setelah dicuci, agregat halus kembali dilakukan uji kandungan lumpur. Besarnya hanya mencapai 2%. Berat jenis agregat halus kondisi SSD adalah 2.531 dan serapan air 2.147 %. Sedangkan berat jenis agregat kasar diameter 9.5 – 19.5 mm sebesar 2.618 dan serapan air 3.609 %.

Komposisi disain campuran yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Komposisi disain campuran beton geopolimer (dalam Kg/m³)

Jenis Material	Jumlah (Kg)
Agregat Kasar (SSD)	1200
Dia. 4.5 – 9.5 mm	540
Dia. 4.5 – 9.5 mm	660
Agregat Halus (SSD)	600
Fly Ash	450
Larutan NaOH	80
Larutan Na ₂ SiO ₃	120
Superpasticizer	9
Air Tambahan	-

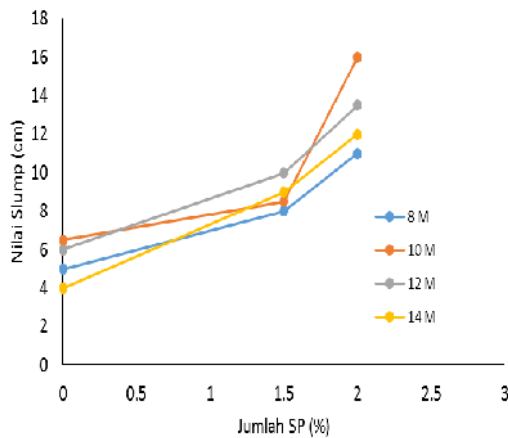
Pengadukan benda uji dilakukan menggunakan molen jenis *pan mixer*. Setiap campuran dibuat dengan variabel konsentrasi larutan NaOH adalah 8, 10, 12, dan 14 M. Benda uji berupa silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm. Jumlah sampel sebanyak 3 buah untuk setiap variable. Pengujian dilakukan ketika beton geopolimer berumur 7, 14, dan 28 hari. Total benda uji untuk masing-masing disain campuran sebanyak 108 buah. Perawatan benda uji hanya disimpan di ruang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi senyawa CaO yang terkandung dalam *fly ash* seperti terlihat pada tabel 1, melebihi batas maksimum untuk kelas F, maka material ini dapat dikategorikan kelas C (*Fly ash* kalsium tinggi). Namun jumlah total senyawa SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ adalah 71.8% yang berarti masih memenuhi syarat untuk diklasifikasikan sebagai kelas F. Karakteristik material *fly ash* seperti ini digolongkan pada kelas CF [10]. Bahasan dalam makalah ini berfokus pada workabilitas dan kuat tekan beton terhadap dosis *superplasticizer*.

Workabilitas dan konsistensi Beton Segar

Karakteristik beton segar untuk jenis beton geopolimer berbeda dengan jenis beton normal yang berbasis semen Portland. Warna beton geopolimer sangat gelap (hitam) tergantung warna sumber *fly ash*. Penggunaan air pada disain campuran dalam jumlah relatif kecil, akan berpengaruh besar pada karakteristik beton segar. Campuran beton segar tanpa penambahan superplastisizer (SP 0%) berperilaku seperti gel dengan konsistensi yang sangat kental. Proses pematatannya relative lambat dan perlu bantuan alat penggetar. Nilai *slump* pada campuran ini berkisar pada interval 4 - 6.5 cm. Campuran dengan persentase SP 1.5 % mempunyai *slump* sekitar 8 – 10 cm, sedangkan campuran dengan SP 2 % berkisar antara 11 – 16 cm. Gambar 1 menunjukkan nilai *slump* untuk beberapa persentase SP terhadap molaritas larutan NaOH.



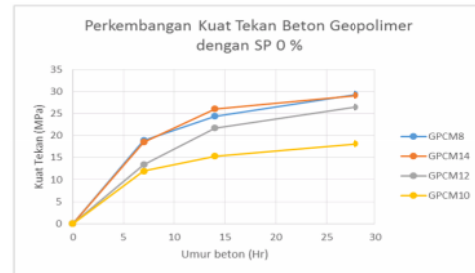
Gambar 1. Hubungan nilai slump terhadap persentase jumlah superplastisizer beton geopolimer

Dari gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh penambahan SP pada campuran beton akan meningkatkan nilai *slump*. Superplastisizer yang digunakan dari produk Sikka yang berbasis Naphthalene dan tergolong tipe F (*High Range Water Reducer*). Perilaku ini mengindikasikan bahwa konsistensi beton segar semakin encer yang berarti workabilitas campuran semakin baik. Nilai slump paling besar terjadi pada campuran dengan konsentrasi NaOH 10 M yaitu sebesar 16 cm.

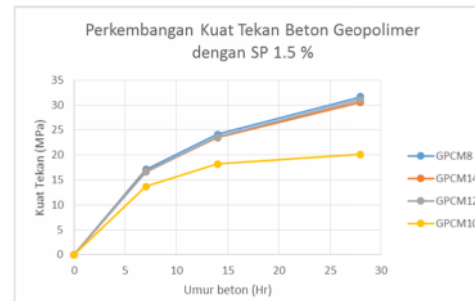
Semua campuran di atas tidak menggunakan air tambahan saat pengadukan. Semakin tinggi nilai *slump*, penuangan beton ke dalam cetakan lebih mudah dan keropos pada benda uji menjadi berkurang. Tidak terjadi *bleeding* pada permukaan saat proses polimerisasi berlangsung. Terdapat noda putih pada permukaan beton saat perawatan. Penyebabnya adalah unsur natrium yang ada dalam beton bereaksi dengan udara luar menghasilkan kristalisasi berwarna putih.

Kuat tekan Beton

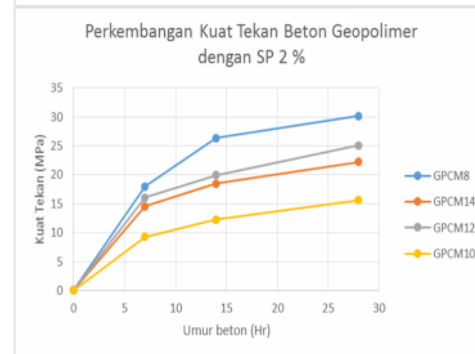
Gambar 2 di bawah ini menunjukkan perkembangan kuat tekan beton geopolymer terhadap umur pengujian pada berbagai presentase jumlah superplastisizer. Konsentrasi larutan NaOH yang digunakan sebagai alkali aktivator adalah 8 M, 10 M, 12 M, dan 14 M. Sedangkan rasio Na_2SiO_3 terhadap NaOH sebesar 1.5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Perkembangan kuat tekan terhadap umur beton geopolymer, (a) Superplastisizer (SP) 0%, (b) Superplastisizer (SP) 1.5 %, dan (c) Superplastisizer (SP) 2 %.

Dari gambar tersebut, karakteristik yang paling berbeda yaitu beton dengan jumlah SP 1.5 % (gambar 2b). Gradien garis kuat tekan dari umur 14 ke 28 hari relatif besar. Perilaku ini menunjukkan bahwa beton geopolymer pada umur 28 hari belum mencapai kekuatan optimum. Bila dibandingkan terhadap kuat tekan rencana, perkembangan kuat tekan beton geopolymer dengan molaritas larutan NaOH 8 M dan SP 0% masing-masing 63%, 81.4%, dan 97.9% pada umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, beton geopolymer belum mencapai kuat tekan rencana. Perkembangan kuat tekan beton geopolymer dalam studi ini tidak jauh berbeda dengan beton yang berbasis semen OPC bahkan cenderung lebih lambat. Dalam peraturan beton Indonesia, kuat tekan beton berbasis semen OPC pada umur yang sama adalah 65%, 88%, dan

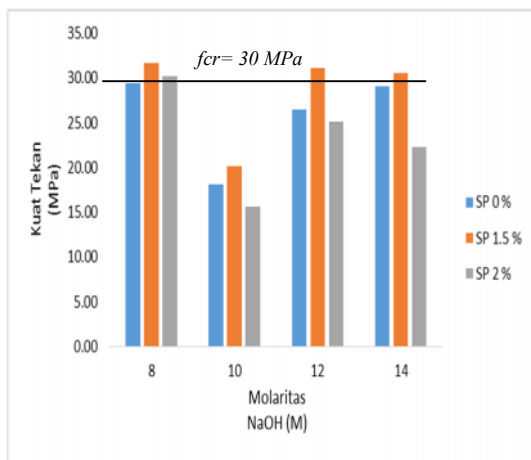
100%. Secara lengkap perkembangan kuat tekan beton geopolimer dapat dilihat pada tabel 3. Sesuai fungsinya, penambahan SP yang berbasis *naphthalene* kedalam campuran beton lebih efektif untuk mengurangi jumlah penggunaan air tetapi kurang efektif terhadap peningkatan kekuatan beton. Hal ini terlihat dari persentase perkembangan kuat tekan awal beton yang tidak terlalu tinggi. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada campuran beton geopolimer dengan molaritas NaOH 8 M dan SP 1.5% yaitu sebesar 5.42%.

Pengaruh superplastisizer terhadap kuat tekan beton geopolimer juga dapat diamati dari gambar 3. Pada gambar tersebut menunjukkan pencapaian kekuatan beton umur 28 hari terhadap kuat rencana untuk beberapa varian dosis SP. Kuat tekan beton geopolimer dengan dosis SP 0 % tertinggi adalah sebesar 29.38 MPa yaitu pada konsentrasi NaOH 8 M. Terdapat selisih 0.62 MPa atau 2.17% lebih kecil

dibanding kuat tekan rencana. Sebaliknya beton geopolimer dengan konsentrasi NaOH 8 M dan dosis SP 1.5 % mencapai kekuatan tertinggi sebesar 31.63 MPa. Terjadi deviasi sebesar 1.63 MPa atau 5.42% lebih besar dari kuat tekan rencana. Sedangkan kuat tekan beton geopolimer dengan dosis SP 2% dan konsentrasi larutan NaOH 8M adalah sebesar 30.21 MPa. Diperoleh simpangan sebesar 0.21 MPa atau 0.7% lebih besar dari kuat tekan rencana. Dapat disimpulkan bahwa beton Geopolimer dengan disain campuran seperti tabel 2 dan molaritas NaOH 8 M pada umur 28 hari mampu mencapai kuat tekan rencana. Deviasi terbesar terhadap kekuatan rencana terjadi pada campuran beton geopolimer dengan konsentrasi NaOH 10 M yaitu sebesar 47.88% atau 14.36 MPa lebih kecil dari rencana. Hal ini terjadi karena pada larutan NaOH terdapat kritisasi atau endapan natrium yang mempengaruhi aktivasinya terhadap material dasar.

Tabel 3. Perkembangan kuat tekan beton geopolimer terhadap kuat tekan rencana $f_c = 30$ MPa

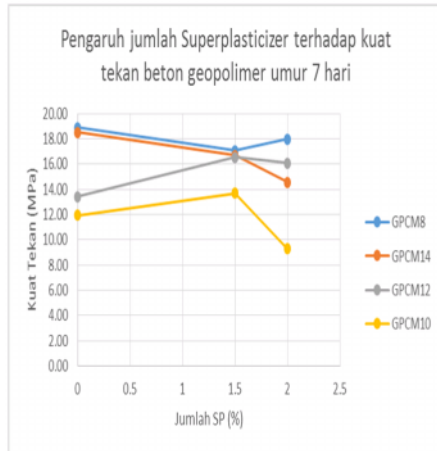
No	NaOH (M)	Umur (hr)	Superplasticizer 0%		Superplasticizer 1.5 %		Superplasticizer 2.0%	
			Perst. (%)	f_c (Mpa)	Berat (gr)	f_c (Mpa)	Berat (gr)	f_c (Mpa)
1	8	7	62.98	18.89	56.87	17.06	59.92	17.98
2	10	7	39.81	11.94	45.64	13.69	30.93	9.28
3	12	7	44.73	13.42	55.14	16.54	53.54	16.06
4	14	7	61.73	18.52	55.62	16.69	48.55	14.56
5	8	14	81.42	24.43	80.31	24.09	87.94	26.38
6	10	14	51.05	15.31	60.62	18.19	40.92	12.28
7	12	14	72.48	21.74	78.65	23.59	66.58	19.97
8	14	14	86.76	26.03	78.23	23.47	61.73	18.52
9	8	28	97.93	29.38	105.42	31.63	100.70	30.21
10	10	28	60.41	18.12	67.00	20.10	52.12	15.64
11	12	28	88.29	26.49	103.62	31.09	83.64	25.09
12	14	28	97.10	29.13	101.81	30.54	74.21	22.26



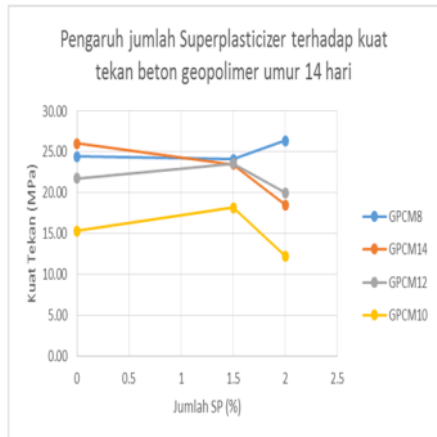
Gambar 3. Perbandingan kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari terhadap kuat tekan rencana.

Pada umur awal (beton muda), pola pengaruh superplastisizer terhadap kuat tekan beton geopolimer tidak beraturan dan kurang stabil (Gambar 3). Beton dengan aktivator NaOH 8 M dan SP 0% mempunyai kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari, sementara pada dosis SP 1.5% kuat tekan berkurang dan meningkat kembali untuk dosis 2%. Perilaku sebaliknya terjadi pada beton dengan campuran aktivator alkalin NaOH 14 M. Pada SP 0% kuat tekan lebih tinggi, kemudian berangsur turun hingga pada beton dengan jumlah SP 2%. Umur 14 hari pengaruh SP sudah mulai stabil dan menunjukkan pola yang beraturan. Dosis SP yang optimum untuk menghasilkan kuat tekan tinggi sesuai rencana, polanya sudah mulai jelas. Hanya pada campuran dengan NaOH 8 M, kuat

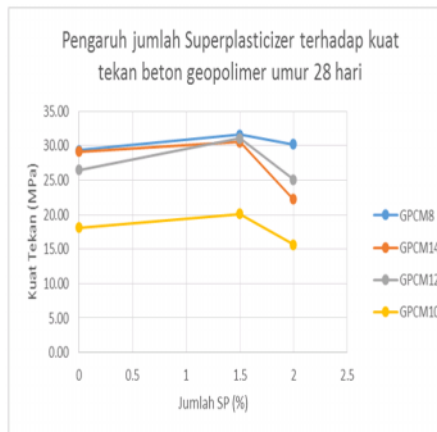
tekan beton meningkat seiring bertambahnya dosis SP. Sedangkan umur 28 hari, pola pengaruh SP sudah sangat jelas. Dari empat varian molaritas larutan NaOH beton geopolimer yang dipelajari, menunjukkan pola serupa. Dosis optimum terjadi pada persentasi SP 1.5% terhadap berat *fly ash*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Pengaruh jumlah superplastisizer terhadap kuat tekan beton geopolimer, (a) umur pengujian 7 hari, (b) umur pengujian 14 hari, dan (c) umur pengujian 28 hari.

V. KESIMPULAN

Pengaruh superplastisizer yang berbasis *naphthalene* cukup efektif untuk memperbaiki workabilitas beton geopolimer. Beton segar menjadi lebih encer dan mudah dilakukan pemadatan saat di tuang ke dalam cetakan. Superplastisizer juga mampu meningkatkan kekuatan beton geopolimer namun besaran hanya mencapai 5.42%. Dosis Superplastisizer akan optimum pada persentase 1.5% terhadap berat *fly ash* dengan kuat tekan mencapai 31.63 MPa dan nilai *slump* antara 8-10 cm. Molaritas larutan NaOH yang baik untuk rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1.5$ adalah 8 M.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-08 (2008), *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Antoni1, S. W. Wijaya, J. Satria, A. Sugiarto, and D. Hardjito (2016), "The Use of Borax in Deterring Flash Setting of High Calcium Fly Ash Based Geopolymer", *Materials Science Forum*, Vol. 857, pp 416-420
- Behzad N, Jay Sanjayan (2014), "Effect of different superplasticizers and activator combinations on workability and strength of fly ash based geopolymer" *Materials and Design* 57, pp 667-672
- Davidovits, J., Sawyer, J.L. (1985) : *Early High Strength Mineral Polymer*, US Patent No.4, 509,985,1985.
- Duxson, P., Fernandez-Jimenez, A., Provis, J.L., Lukey, G.C., Palomo, A., and van Deventer, J.S.J. (2007) : Geopolymer Technology : The Current State of The Art, *Journal Material Science*, 42, 2917-2933.
- Ekaputri J.J, Triwulan, dan Damayanti. O. (2007) "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material

- Alternatif” *Jurnal PONDASI*, volume 13 no.2
- Hardjito, D., C.C. Cheak, and C.H.L. Ing (2008), “Strength and setting times of low calcium fly ashbased geopolymer mortar”, *Mod. Appl. Sci.* Vol 2, No 4
- Hardjito, D., and Rangan, B.V., (2005) : “Development and Properties of Low-Calcium Fly ash-Based Geopolymer Concrete”, *Resarch Report GCI*, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Hardjito, D. (2005), *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*, PhD Thesis Curtin University of Technology Australia.
- Herwani, I. Pane, I. Imran, .B. Budiono (2017),” Compressive strength of fly ash-based geopolymer Concrete with a variable of sodium hydroxide (NaOH) solution molarity”, *SIBE international conference*,.
- Jiting Xie, Obada Kayali (2015), “Effect of superplasticizer on workability enhancement of class F fly ash-based Geopolymers” *world of coal ash conference*.
- M. Sofi, J. S. J. van Deventer, P. A. Mendis, G. C. Lukey (2007), “Bond performance of reinforcing bars in inorganic polymer Concrete (IPC)” *Material Science Journal*, 42:3107–3116
- M. Thomas (2007). “Optimizing the use of fly ash in concrete,” *Portl. Cem. Assos.*,
- Simatupang, P.H., Imran, I., Pane, I. & Sunendar, B. (2015). ‘On the Development of a Nomogram for Alkali Activated Fly Ash Material (AAFAM) Mixtures’, *Journal of Engineerig, Technologies & Sciences*, Vol. 47, No. 3, 231-249.,
- Siyal, A.A., Azizli, K.,A., Man, Z., & Ullah, H. (2016). ‘Effects of Parameters on the Setting Time of Fly Ash Based Geopolymers Using Taguchi Method’, in *Proceedings of 4th International Conference on Process Engineering and Advanced Materials*, Procedia Engineering 148, pp. 302 – 307.
- Triwulan, Ekaputri J.J, Huda C. (2015). Lightweight Geopolymer Binder Base on Sidoarjo Mud, *Materials Science Forum* Vol.803, Switzerland, pp 148-159
- Triwulan, Wigestika, P., Ekaputri J.J. (2016). ” Addition of superplasticizer on geopolymer concrete” *ARNP Journal of Engineering and Applied Science*, VOL. 11, NO. 24