

PENGARUH PENGGUNAAN SEMEN GEOPOLYMER BERBASIS FLY ASH PADA CAMPURAN MORTAR GEOPOLYMER

Muhammad Hadi ¹, Firdaus ², Rosidawani ³

^{1,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Bina Darma, ²Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya

Corresponding author email: muhammadhadi2211@gmail.com¹, firdaus.dr@binadarma.ac.id², rosidawani@ft.unsri.ac.id³

Kata Kunci:

Semen Geopolymer; Fly Ash; Mortar Geopolymer.

Abstrak

Semen geopolymer dengan bahan mineral fly ash merupakan salah satu alternatif pengganti semen portland yang tidak ramah lingkungan. Penelitian ini berfokus pada pembuatan semen geopolymer berbasis fly ash dengan variabel campuran Na_2SiO_3 dan NaOH . Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium, dengan menggunakan benda uji kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan w/c 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, semen geopolymer, NaOH dan Na_2SiO_3 kering. Berdasarkan hasil uji *setting time* semen geopolymer pada w/c 0,30 lebih cepat dengan waktu ikat awal 15 jam jika dibandingkan dengan w/c 0,45 dengan waktu ikat awal 32 jam. Jika dilihat dari hasil uji kuat tekan pada masing masing umur uji 14 hari, 21 hari dan 28 hari untuk w/c 0,30 sebesar 9,60 Mpa, 10,07 Mpa, 11,82 Mpa, bila dibandingkan dengan w/c 0,35, 0,40, 0,45 kuat tekan lebih rendah dengan nilai sebesar 4,83 Mpa, 5,95 Mpa, 7,85 Mpa untuk w/c 0,35 dan 4,69 Mpa, 5,31 Mpa, 7,06 Mpa untuk w/c 0,40, serta 3,64 Mpa, 4,68 Mpa, 5,55 Mpa untuk w/c 0,45, maka nilai kuat tekan maksimum penggunaan semen geopolymer berbasis fly ash pada campuran mortar geopolymer terdapat pada w/c 0,30.

Keywords:

Geopolyme Cement; Fly Ash; Mortar Geopolymer

Abstract

Geopolymer cement with fly ash minerals is an alternative to Portland cement which is not environmentally friendly. This research focuses on making fly ash-based geopolymer cement with a variable mixture of Na_2SiO_3 and NaOH . The research was carried out experimentally in the laboratory, using cube specimens measuring 50 mm x 50 mm x 50 mm with w/c 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, geopolymer cement, dry NaOH and Na_2SiO_3 . Based on test results *setting time* Geopolymer cement at w/c 0.30 is faster with an initial setting time of 15 hours compared to w/c 0.45 with an initial setting time of 32 hours. If seen from the results of the compressive strength test at each test age of 14 days, 21 days and 28 days for w/c 0.30 it is 9.60 Mpa, 10.07 Mpa, 11.82 Mpa, when compared with w/c 0.35, 0.40, 0.45 lower compressive strength with values of 4.83 Mpa, 5.95 Mpa, 7.85 Mpa for w/c 0.35 and 4.69 Mpa, 5.31 Mpa, 7.06 Mpa for w/c 0.40, and 3.64 Mpa, 4.68 Mpa, 5.55 Mpa for w/c 0.45, then the maximum compressive strength value for using fly ash based geopolymer cement in the geopolymer mortar mixture is found at w/c 0.30.

PENDAHULUAN

Semen geopolymer salah satu alternatif pengganti semen portland yang tidak ramah lingkungan dengan cara yaitu sintesis bahan yang terdiri dari silikat-aluminat dan itu terdapat pada mineral basalt (fly ash). Namun proses pembuatan semen geopolymer pada dasarnya masih sangat rumit bahkan memang tidak ada dan tidak pernah dijumpai semen geopolymer dalam bentuk serbuk karena pada dasarnya berbahan alkali basa yang hanya dapat dilakukan di laboratorium berbahan baku mineral basalt (fly ash) di campur Na_2SiO_3 dan NaOH . Melatarbelakangi itu maka penelitian ini akan berfokus pada pembuatan semen geopolymer berbasis fly ash dengan variabel campuran Na_2SiO_3 dan NaOH agar dapat komposisi yang optimum dalam bentuk serbuk dan diharapkan dapat mempermudah pengerjaan beton geopolymer secara langsung di lapangan.

Geopolymer merupakan salah satu silikat alumina anorganik dengan proses disintesis dari bahan-bahan limbah atau produk sampingan contohnya fly ash (abu terbang), sekam padi dan lain-lain, yang banyak mengandung silika dan alumina (Davidovits, 1997). Beton geopolymer merupakan beton geosintetik yang mana reaksi peningkatan yang terjadi yaitu reaksi polimerisasi. Pada reaksi polimerisasi yang berperan penting adalah senyawa alumina dan silika. maka dalam pembuatan beton geopolymer digunakan fly ash. Fly ash merupakan limbah buangan dari hasil pembakaran batu bara. Fly ash

dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3) karena mengandung logam berat, oleh karena itu limbah fly ash tidak boleh dibuang sembarangan kelingkungan karena dapat mencemari lingkungan (PP. No. 85 Tahun 1999). Sehingga fly ash dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan semen geopolimer kerana memiliki kelebihan yakni sifat fly ash yang dapat meningkatkan sifat fisik, kimia dan mekanik dari semen dan beton (Ahmaruzzman, 2010).

Proses pembuatan beton geopolimer pada dasarnya masih sangat rumit di bandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional, belum ada perhitungan mix design yang pasti, membutuhkan alkaline activator dan unsur kimia lainnya, maka dari itu pembuatan beton geopolimer masih sangat rumit semua proses pengerjaannya harus di laboratorium belum dapat dilakukan secara on point dilapangan, maka dari itu penelitian ini akan berfokus pada pengaruh penggunaan semen geopolimer dengan bahan dsasar fly ash, potasium, water gel yang akan diaplikasikan pada campuran beton geopolimer agar dapat mempermudah pengerjaan beton geopolimer secara langsung di lapangan.

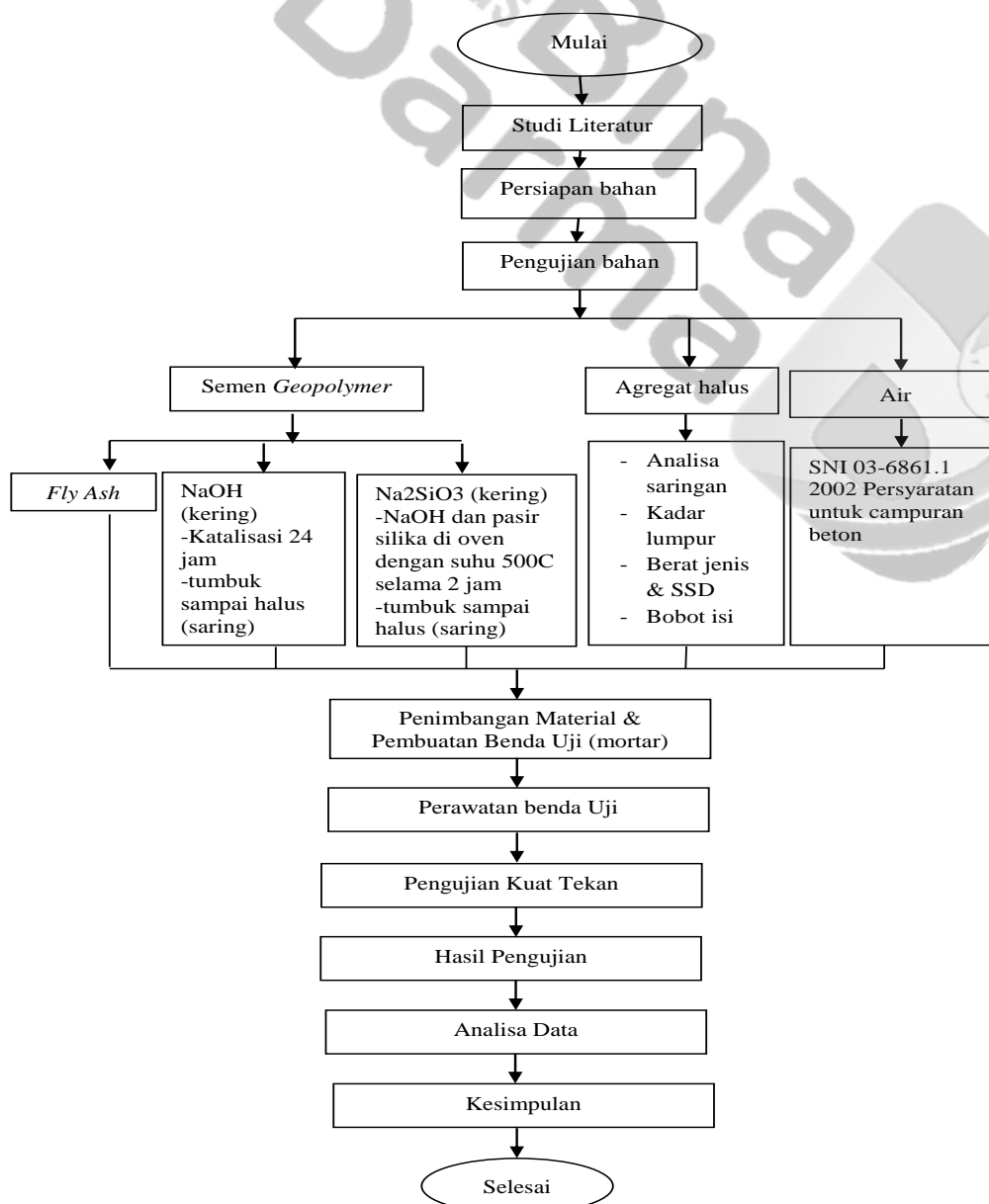
METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu, dengan membuat eksperimen terhadap objek penelitian yang dilakukan dilaboratorium Teknik Sipil. Fly Ash diambil dari PLTU Bukit Asam Tanjung Enim, NaOH diambil dari tokoh kimia, pasir diambil dari tanjung raja, Na_2SiO_3 kering yang dibuat dilaboratorium Teknik Sipil. Sampel benda uji 50 mm x 50 mm x 50 mm digunakan untuk menentukan kuat tekan dari sample benda uji mortar geopolimer dengan variasi w/c yang berbeda diantaranya 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 dan untuk semen geopolime berbahan dasar fly ash, NaOH dalam bentuk kering atau serbuk dan Na_2SiO_3 dalam bentuk kering atau serbuk.

Adapun tahapan penelitian ini mencakup tahapan-tahapan sebagai berikut **penyiapan bahan** (pada tahap ini semua bahan yang akan digunakan untuk pencampuran pembuatan beton harus disiapkan terlebih dahulu, adapun bahan yang akan disiapkan adalah agregat halus pasir dari tanjung raja yang merupakan salah satu agregat yang akan dicampurkan kedalam campuran mortar, semen geopolimer berbahan dasar fly ash dengan campuran NaOH dan Na_2SiO_3), **pembuatan Na_2SiO_3 kering** (pada tahap ini merubah metode pembuatan beton geopolimer berbasis fly ash yang selama ini menggunakan metode campuran basah menjadi metode metode kering dengan cara merubah Natrium Silikat (Na_2SiO_3) atau water glass yang aslinya berbentuk cairan atau jel menjadi water glass betuk kering atau bubuk), **pengujian bahan** (pada tahap ini menguji semua bahan yang telah disiapkan apakah telah memenuhi standar yang berlaku atau tidak, agregat halus pasir tanjung raja yang akan diuji adalah analisa saringan, kadar lumpur, berat jenis & SSD terakhir bobot isi), **pencampuran bahan** (pada tahap ini dilakukan pencampuran bahan diawali dengan memasukkan agregat halus pasir terlebih dahulu terus dilanjutkan semen geopolimer berbahan dasar fly ash diaduk hingga rata kemudian air hingga menjadi mortar aduk hingga dirasa selama 30 menit), **penyiapan sampel** (pada tahapan ini penulis menyiapkan sampel beton silinder untuk dilakukan tes kuat tekan pada umur 14 hari, 21 hari dan 28 hari), **perawatan benda uji** (pada tahap ini dilakukan perawatan sampel dengan suhu ruang), **uji kuat tekan** (pada tahap ini menguji benda uji yang telah berumur, 14 hari, 21 hari dan 28 hari gunanya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan semen geopolimer berbasis fly ash pada campuran beton geopolimer dengan variasi w/c yang berbeda), dan **analisis hasil uji** (pada tahap ini menyimpulkan hasil dari pengaruh penggunaan semen geopolimer berbasis fly ash pada campuran beton geopolimer. Adapun parameter dan variabel pada penelitian ini terdiri dari pengaruh semen geopolimer dan w/c yang dipakai yaitu w/c 0,30, 0,35, 0,40, dan 0,45 terhadap kuat tekan mortar geopolimer tersebut dijelaskan pada **tabel 1**.

Tabel 1. Jumlah benda uji

No	Kode benda uji	Umur	W/C	Formula			Jumlah benda Uji
				FA	AK	NN	
1	MG (0,30)	14	0,30	70	30	1 : 3	5
		21		70	30	1 : 3	5
		28		70	30	1 : 3	5
2	MG (0,35)	14	0,35	70	30	1 : 3	5
		21		70	30	1 : 3	5
		28		70	30	1 : 3	5
3	MG (0,40)	14	0,40	70	30	1 : 3	5
		21		70	30	1 : 3	5
		28		70	30	1 : 3	5
4	MG (0,45)	14	0,45	70	30	1 : 3	5
		21		70	30	1 : 3	5
		28		70	30	1 : 3	5
TOTAL							60



Gambar 1. Diagram alir langkah - langkah penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Material Agregat Halus

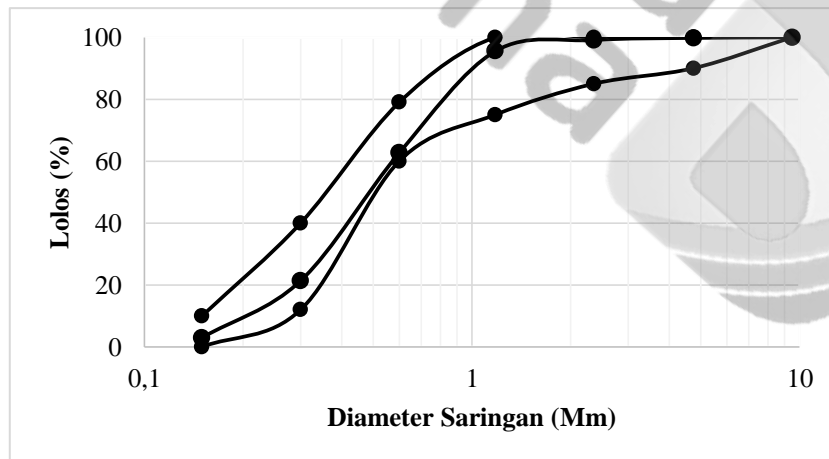
Dari hasil pengujian analisa saringan yang telah dilakukan di laboratorium Teknik Sipil didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan			Lolos (%)
	Gram	%	% Kumulatif	
9,5	0	0	0	100
4,75	1,0	0,100	0,100	99,900
2,36	14,57	1,457	1,557	98,443
1,18	42,07	4,207	5,764	94,236
0,6	315,57	31,560	37,324	62,676
0,3	402,07	40,210	77,534	22,466
0,15	188,07	18,809	96,343	3,657
Pan	36,57	3,657	100	0
Jumlah	1000	100	318,622	-

Maka didapat nilai Modulus Halus Butir Agregat (MHB) = (% kumulatif)/100
 $= 318,622/100$
 $= 3,186$

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus didapat nilai MHB yaitu 3,186 telah memenuhi standar SII 0052 yaitu antara 1,5 – 3,8.



Gambar 2. Kurva gradasi agregat halus

Dari hasil pengujian kadar lumpur yang telah dilakukan didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Kadar lumpur agregat halus

Pemeriksaan	Notasi	Sampel
Berat pasir sebelum dicuci (gram)	A	1000
Berat pasir konstan (gram)	B	992
Kadar Lumpur (%)	$\frac{A-B}{A} \times 100\%$	0,8

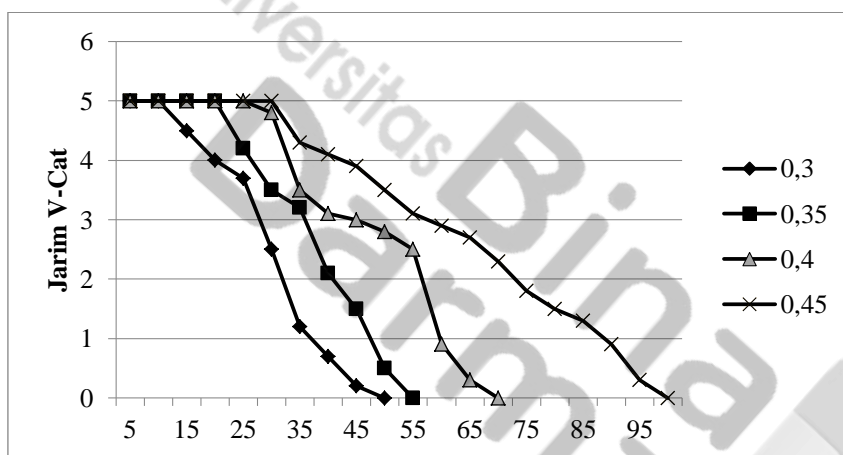
Berdasarkan hasil perhitungan pengujian kadar lumpur agregat halus didapat nilai kadar lumpur sebesar 0,8% dimana syarat kadungan kadar lumpur untuk agregat halus berdasarkan SII 0052 <5%.

Pengujian Setting Time Semen Geopolymer

Dari hasil penelitian dilakukan didapat hasil uji setting time dari setiap variasi w/c yang telah di rencanakan yaitu 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 adapun hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil setting time semen geopolimer

Setting Time Semen Geopolymer					
No	Variasi w/c	Waktu Ikat Awal		Waktu Ikat Akhir	
		Menit	Jam	Menit	Jam
1	0,30	900	15	2.880	48
2	0,35	1.380	23	3.300	55
3	0,40	1.740	29	4.200	70
4	0,45	1.920	32	5.820	97



Gambar 3. Grafik hasil setting time semen geopolimer

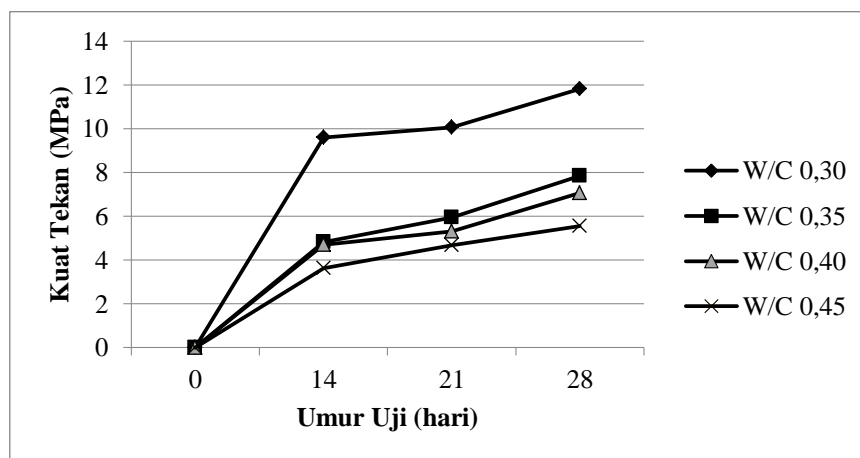
Berdasarkan hasil pengujian setting time semen geopolimer di atas menunjukkan waktu ikat awal lebih lama dari pada semen portland pada umumnya, maka disarankan melakukan penelitian lanjutan dengan variasi w/c yang lebih banyak dan bahan tambah agar dapat mempercepat poses waktu ikat. Pada **gambar 3** Grafik Hasil Setting Time Semen Geopolymer dapat di lihat pada w/c 0,30 menghasilkan setting time waktu ikat awal 900 menit sama dengan 15 jam dan untuk waktu ikat akhir 2.880 menit sama dengan 48 jam, untuk w/c 0,35 menghasilkan setting time waktu ikat awal 1.380 menit sama dengan 23 jam dan untuk waktu ikat akhir 3.300 menit sama dengan 55 jam, untuk w/c 0,40 menghasilkan setting time waktu ikat awal 1.740 menit sama dengan 29 jam dan untuk waktu ikat akhir 4.200 menit sama dengan 70 jam, untuk w/c 0,45 menghasilkan setting time waktu ikat awal 1.920 menit sama dengan 32 jam dan untuk waktu ikat akhir 5.820 menit sama dengan 97 jam. Melihat hasil diatas kita dapat menyimpulkan bahwa semakin besar w/c yang dipakai makan semakin lama pula waktu setting time atau waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya sebaliknya semakin kecil w/c yang kita pakai maka semakin cepat pula waktu setting time atau waktu ikat awal dan waktu ikat akhirnya. Jika Kita bandingkan waktu ikat awal w/c 0,30 dan w/c yang paling besar,0,45 dapat dilihat waktu ikat awal rentan waktunya 10 jam dan waktu ikat akhirnya 49 jam, makan disarankan untuk menambah variasi w/c yang lebih banyak serta bahan tambah lainnya agar dapat mempercepat setting time atau waktu ikat dari semen geopolimer.

Hasil Uji Kuat Tekan

Setelah dilakukan pembuatan benda uji dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut. pengujian kuat tekan mortar geopolimer dilakukan pada benda uji berumur 14 hari, 21 hari, 28 hari yang akan diuji di laboratorium Teknik Sipil dengan variasi w/c 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 dapat dilihat pada tabel di bawah serta dapat diuraikan sebagai berikut :

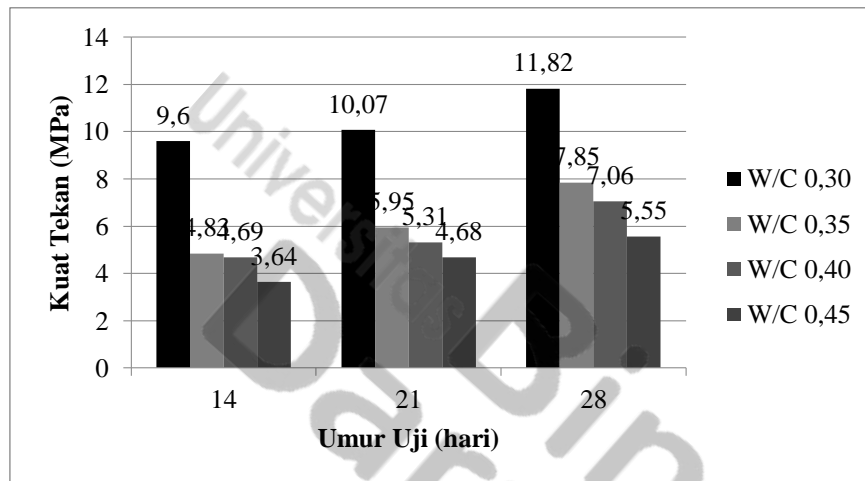
Tabel 5. Hasil test uji kuat tekan

No	Kode Benda Uji	W/C	Formula			Kuat tekan (KN)		
			FA	AK	NN	14 Hari	21 Hari	28 Hari
1	MG (0,30)	0,30	70	30	1 ; 3	21	20	35
			70	30	1 ; 3	24	26	24
			70	30	1 ; 3	27	24	35
			70	30	1 ; 3	25	22	35
			70	30	1 ; 3	24	35	20
	Rata - rata						24,2	25,4
Mpa						9,60	10,07	11,82
2	MG (0,35)	0,35	70	30	1 ; 3	13	15	11
			70	30	1 ; 3	8	17	15
			70	30	1 ; 3	10	18	23
			70	30	1 ; 3	15	15	25
			70	30	1 ; 3	15	10	25
	Rata - rata						12,2	15
Mpa						4,83	5,95	7,85
3	MG (0,40)	0,40	70	30	1 ; 3	18	13	15
			70	30	1 ; 3	15	5	15
			70	30	1 ; 3	7	24	22
			70	30	1 ; 3	3	13	25
			70	30	1 ; 3	15	12	12
	Rata - rata						11,6	13,4
Mpa						4,69	5,31	7,06
4	MG (0,45)	0,45	70	30	1 ; 3	3	7	7
			70	30	1 ; 3	5	5	20
			70	30	1 ; 3	5	7	23
			70	30	1 ; 3	20	20	15
			70	30	1 ; 3	13	20	5
	Rata - rata						9,2	11,8
Mpa						3,64	4,68	5,55



Gambar 4. Hasil kuat tekan pada mortar geopolymer w/c 0,30, 0,35, 0,40, 0,45

Dari **gambar 4** dapat dilihat bahwa kuat tekan mortar geopolimer terus mengalami peningkatan kuat tekan baik pada umur 14, 21 maupun 28 hari, jika dilihat dari grafik diatas hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan W/C 0,45 terus mengalami kenaikan kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 5,55 Mpa, untuk W/C 0,40 juga terus mengalami kenaikan kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 7,06 Mpa sama dengan yang sebelumnya W/C 0,35 juga mengalami kenaikan kuat tekan pada umur 28 hari yaitu 7,85 Mpa, sedangkan hasil kuat tekan mortar geopolimer dengan W/C 0,30 terus mengalami kenaikan kuat tekan pada umur 28 hari dengan 11,82 Mpa yang merupakan kuat tekan tertinggi dari W/C 0,45, 0,40 dan 0,35.



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan mortar geopolimer dengan variasi w/c 0,30, 0,35, 0,40, 0,45

KESIMPULAN

Penggunaan semen geopolimer berbasis fly ash pada campuran mortar geopolimer memberikan pengaruh terhadap nilai kuat tekan. Dari pembuatan semen geopolimer kering berbasis fly ash juga membuahkan hasil yang memuaskan dan dari beberapa variasi W/C yang telah ditetapkan diperoleh nilai kuat tekan maksimum dicapai pada W/C 0,30 pada masing – masing umur uji 14 hari, 21 hari dan 28 hari nilai kuat tekan maksimum yang dicapai adalah sebesar 9,60 Mpa, 10,07 Mpa dan 11,82 Mpa. Bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan mortar geopolimer terendah yaitu pada variasi W/C 0,45 pada masing – masing umur uji 14 hari, 21 hari dan 28 hari nilai kuat tekan minimum yang dicapai adalah sebesar 3,64 Mpa, 4,68 Mpa dan 5,55 Mpa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen Teknik Sipil di Universitas Bina Darma dan pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Djwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah, Dody M. J. Sumajouw, and B. Vijaya Rangan, 2004, *ACI MATERIALS JOURNAL*, On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete.
- Sirin Fairus, Haryono, Mas H. Sugita, 2009. *Proses Pembuatan Waterglass dari Pasir Silika dengan Pelebur Natrium Hidroksida*, Institut Teknologi Nasional.
- Badan Standar Nasional, 2000. SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2000. SNI 03-6468-2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*.

- Manuahe, Riger, 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash), Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Emiati Bachtiar, 2019. Material Ramah Lingkungan “Mortar Geopolymer-Fly Ash”. Fakultas Teknik Universitas Fajar.
- Firdaus, Ishak Yunus, Rosidawani, 2016. “Contribution Of Fineness Level Of Fly Ash To The Compressive Strength Of Geopolymer Mortar”. Civil Engineering Department, Faculty Of Engineering, Bina Darma University, Palembang
- Firdaus, Edowinsyah, 2021. “Lightweight Mortar Geopolymer Based On Fly Ash And Palm Ash”, Prodi Teknik Sipil, Universitas Bina Darma, Palembang.
- Widodo Kushartomo, 2006. Bahan Pengikat Beton Pengganti Semen, Fakultas Teknik Universitas Taruma Negara.
- Muhammad Amin, Suharto, 2017. Pembuatan Semen Geopolymer Ramah Lingkungan Berbahan Baku Mineral Basal Guna Menuju Lampung Sejahtera, Balai Penelitian Mineral Lampung-LIPI, Lampung Selatan.
- Maria Imelda Meda, 2021. Pembuatan Semen Geopolymer dari Fly Ash dengan Aktivator KOH dan K_2SiO_3 yang Disintesis dari Sekam padi.
- Rulli Ranastra Irawan, Setyo Hardono, Yanu Ikhtiar Budiman, Ogi Soeherman, Desak Nyoman Deasy Triani, Gugun Gunawan, 2015. Beton Dengan Sedikit Semen Portland dan Tanpa Semen Portland Memanfaatkan Abu Terbang dari PLTU Batubara, PUSLITBANG Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR.
- Rafli Andaru Ikomudin, Bernadius Herbudiman, Rulli Ranastra Irawan, 2016. Ketahanan Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash terhadap Sulfat dan Klorida, Jurnal Online Institusi Teknologi Nasional.
- Nisa Latifah Gandina, Y. Djoko Setiyarto, 2020. Studi Eksperimental Beton Geopolymer Dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen dan Serat Mat Sebagai Aditif, Program Studi Teknik Sipil Universitas Komputer.
- Aryanto, Faisal, Erwin Sutandar, Herwani, Studi Koefisien Kuat Tekan Beton Geopolymer Pada Berbagai Umur, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Juan Satria, Agung Sugiarto, Antoni, Djwantoro Hardjito, Karakteristik Beton Geopolymer Berdasarkan Variasi Waktu Pengambilan Fly Ash, Universitas Kristen Petra.
- Mira Setiwati, Muhammad Imaduddin, 2018. Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton, Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Heri Wijaya, Vike Itteridi, Tarmizi, 2021. Pengaruh Rasio $Na_2SiO_3 : NaOH$ Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Batu Napal.
- Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan, 2011. Geopolymer Concrete Using Fly Ash, Trass, Sidoarjo Mud Based Material.
- Mira Setiawati, R. A. Sri Martini, Rully Nurulita, 2022. Variasi Molaritas NaOH dan Alkali Aktivator Beton Geopolymer, Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Reiner Tirtamuyula Surja, Ricard Mintura, Antoni, Djawantoro Hardjito. Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C.
- Irfan Prasetyo Leokito, 2018. Pengaruh Variasi NaOH dan Na_2SiO_3 Terhadap Kuat Tekan Dry Geopolymer Mortar Pada Kondisi Rasio Fly Ash Terhadap Aktivatr 2,5 : 1.
- Sandri Linna Sengkey, Rita Irmawaty, Muralia Hustim dan Purwanto, 2020. Pengaruh Alkali Aktivator Terhadap Workabilitas dan Kuat Tekan Mortar Geopolymer Bebahan Fly Ash Klas C.
- Muhammad Amin, Suharto, 2017. Pembuatan.

Mulyono, T., 2005. *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.

Paul, N., Antoni, 2007. *Teknologi Beton*. Andi, Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K, 1992. *Teknologi Beton*, Gramedia, Yogyakarta.

