

# PENGARUH VARIASI NaOH TERHADAP Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> TERHADAP KUAT TEKAN DRY GEOPOLYMER MORTAR METODE DRY MIXING PADA KONDISI RASIO ABU TERBANG TERHADAP AKTIVATOR 3:1

Avi Anggi Purnamasari

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[avianggi05@gmail.com](mailto:avianggi05@gmail.com)

Arie Wardhono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[ariewardhono@unesa.ac.id](mailto:ariewardhono@unesa.ac.id)

## Abstrak

*Global warming* kini menjadi isu lingkungan di dunia karena dampak serius yang ditimbulkan, para peneliti berupaya mengurangi penyebabnya, salah satunya melalui teknologi geopolimer. Abu terbang sebagai bahan dasar geopolimer dan sodium hidroksida serta sodium silikat sebagai alkali aktivator akan menghasilkan *geopolymer cement*. Penelitian ini bertujuan menghasilkan kuat tekan tertinggi *dry geopolymer mortar* menggunakan metode *dry mixing* dimana *fly ash*, sodium hidroksida dan sodium silikat digiling bersama kemudian menghasilkan semen geopolimer.

Rasio abu terbang terhadap aktivator yang digunakan sebesar 3:1. Sodium hidroksida (NaOH) padat dan sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) padat yang merupakan aktivator kering dengan perbandingan komposisi 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, 1:3, 1:3,5 digiling bersama dengan *fly ash* tipe C menghasilkan semen geopolimer. Kemudian semen ini dicampur dengan air dengan komposisi sebesar 0,4 dan juga pasir. Setelah mortar homogen, mortar tersebut disimpan pada suhu ruangan dengan metode *polyethene curing*.

Hasil yang ditunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi berada pada variasi NaOH terhadap Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebesar 1:2,5 dengan nilai kuat tekan 25,02 MPa. Hasil uji pengikatan awal/uji vicat didapatkan pengikatan tercepat pada variasi NaOH terhadap Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> sebesar 1:3,5. Kandungan sodium silikat berpengaruh besar terhadap nilai kuat tekan dan waktu pengikatan awal mortar.

**Kata Kunci:** *Dry geopolymer mortar, dry mixing, kuat tekan, uji vicat, aktivator kering.*

## Abstract

*Nowdays global warming becomes environmental issues in the world that have serious impact, therefore the researchers try to reduce the cause, that is geopolymer technology. Fly ash is as geopolymer resource and sodium hydroxide also sodium silicate as alkaline activator will produce geopolymer cement. This work aims to produce the highest compressive strength of dry geopolymer mortar using dry mixing methode which fly ash, sodium hydroxide, sodium silicate are milled together then produce geopolymer cement.*

*The ratio of fly ash to activator is 3:1. Sodium hydroxide (NaOH) solid and sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) solid which are dry activators that have composition ratio 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, 1:3, 1:3,5 milled together with fly ash type C produces geopolymer cement. Then it is mixed with water that has composition 0,4 and sand. After mortar is mixed homogeneously, it is stored at the room temperature with polyethene curing.*

*The results showed that the highest compressive strength value was in the variation of NaOH to Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1:2,5 with compressive strength value 25,02 MPa. The fastest initial binding test showed in the variation of NaOH to Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1:3,5. The contents of sodium silicate has a big effect to compressive strength value and initial binding.*

**Keywords:** *Dry geopolymer mortar, dry mixing, compressive strength, vicat test, dry activator.*

## PENDAHULUAN

Dewasa ini *global warming* adalah masalah lingkungan yang menjadi pusat perhatian seluruh dunia.

*Global warming* disebabkan oleh meningkatnya emisi gas karbon di atmosfer yang berakibat pada peningkatan suhu dan radiasi di permukaan bumi, dimana 65%nya dikontribusi oleh gas karbondioksida (McCaffrey, 2002).

Berdasarkan *World Meteorological Organization Greenhouse Gas Bulletin* (2017), tingkat pertambahan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) di atmosfer selama 70 tahun terakhir mencapai 100 kali lebih besar dari zaman es terakhir. WMO GAW mencatat bahwa kadar  $\text{CO}_2$  sebesar  $403,3 \pm 0,1$  ppm, meningkat sebesar 3,3 ppm dari tahun 2015 dan 2016 dimana emisi  $\text{CO}_2$  pada tahun tersebut lebih tinggi dari catatan emisi tertinggi tahun-tahun sebelumnya (WMO *Greenhouse Gas Bulletin*, 2017). Penyebab utama GHG (*Greenhouse Gas*) ini adalah emisi dari pembakaran bahan bakar fosil dan dari produksi semen dengan total mencapai 145% di atmosfer. Konsumsi semen diprediksi meningkat 2,6% pada tahun 2017, dan 2,8% pada tahun 2018 (*Portland cement Association*, 2017).

Berdasarkan [www.worldcement.com](http://www.worldcement.com) (2017), total konsumsi semen dunia pada tahun 2022 sangat luar biasa, mencapai sekitar 4,7 milyar ton. Padahal, produksi 1 ton *Portland cement* mengeluarkan hampir 1 ton  $\text{CO}_2$  ke atmosfer (Davidovits, 1994; McCaffrey, 2002). Meskipun demikian, tidak dapat dipungkiri jika *Portland cement* sangat dibutuhkan di dunia konstruksi karena merupakan material pengikat agregat pada beton. Di Indonesia, hingga tahun 2017, kementerian perindustrian memperkirakan total kebutuhan semen mencapai 70 juta ton per tahun (Kementerian Perindustrian, 2017). Oleh karena itu, para peneliti menciptakan berbagai cara untuk mereduksi emisi  $\text{CO}_2$  ke atmosfer tanpa harus menurunkan produktivitas kegiatan konstruksi salah satunya dengan mengganti penggunaan material semen seperti abu terbang, *silica fume*, residu pembakaran pada tanur dari proses pemurnian baja (*granulated blast furnace slag*), RHA/abu sekam padi, dan metakaolin, serta menemukan alternatif binder untuk *Portland cement* (Wallah dan Rangan, 2006).

Sebagai upaya mengurangi dampak *global warming*, para peneliti mengembangkan pembuatan semen dan beton dengan teknologi geopolimer. Geopolimer adalah polimer anorganik yang terdiri dari aluminosilikat (Si dan Al dalam bentuk oksida) yang teraktifasi oleh larutan basa (basa aktivator/*alkaline activator*). Teknologi geopolimer dapat mereduksi emisi  $\text{CO}_2$  di atmosfer yang disebabkan oleh semen dan industri agregat sekitar 80% (Davidovits, 1994). Bahan dasar untuk membuat geopolimer adalah alumino-silikat yang kaya akan silikon (Si) dan aluminium (Al) (Wallah dan Rangan, 2006). Pemilihan bahan dasar untuk membuat geopolimer mempertimbangkan beberapa faktor seperti ketersediaannya, harga, jenis pengaplikasiannya, dan permintaan khusus dari pengguna. Teknologi geopolimer yang diusulkan oleh Davidovits (1988) membuktikan aplikasi alternatif pengikat *Portland cement* pada industri beton (Wallah dan Rangan, 2006).

Abu terbang dan *slag* merupakan limbah yang memiliki potensial tertinggi sebagai bahan dasar geopolimer (Wallah dan Rangan, 2006). Abu terbang kaya akan kandungan unsur silika dan aluminium yang keduanya berguna untuk proses geopolimerisasi (Olivia, 2011). Palomo et. al., (1999) melaporkan penelitian mengenai abu terbang sebagai bahan dasar geopolimer. Mereka menggunakan kombinasi antara sodium hidroksida dengan sodium silikat dan potasium hidroksida dengan potasium silikat dimana kombinasi sodium silikat dan sodium hidroksida memberikan kuat tekan tertinggi (Wallah dan Rangan, 2006). Selain itu, produksi *abu terbang* di dunia pada tahun 2000 berjumlah 349 milyar ton (Wang, 2007). Alasan-alasan tersebut mendasari dipilihnya abu terbang sebagai bahan dasar geopolimer.

Melalui teknologi geopolimer, abu terbang sebagai bahan dasar geopolimer dan sodium hidroksida serta sodium silikat sebagai alkali aktivator akan menghasilkan *geopolymer cement*. Beberapa penelitian menunjukkan metode pembuatan mortar geopolimer konvensional/*wet mixing*. Mortar adalah adukan yang terbuat dari campuran agregat halus (pasir), pengikat (*Portland cement*), dan air. Pada geopolimer konvensional/*wet mixing* diharuskan untuk menghitung komposisi *molar ratio* larutan alkali terlebih dahulu untuk kemudian dapat dicampur dengan material pozzolan. Metode ini sulit diterapkan di lapangan karena dalam pembuatannya hanya pihak-pihak tertentu saja yang paham mengenai cara pembuatannya (ahli kimia). Selain itu, larutan alkali (sodium hidroksida dan potasium hidroksida) melepaskan panas dengan suhu yang tinggi sehingga termasuk dalam kategori *user hostile* dan akan sulit untuk diproduksi dalam skala besar. Oleh karena itu, timbul sebuah gagasan untuk membuat geopolimer yang dicampur dengan air dan aktivator kering (*dry activator*) sehingga membentuk semen yang disebut metode *dry mixing*. Metode ini diharapkan mampu menjadi pedoman untuk memudahkan masyarakat luas dalam membuat *geopolymer cement* berbasis abu terbang.

Ridho Bayuaji et. al., (2017) merekomendasikan beberapa parameter penelitian mengenai *dry geopolymer mortar* metode *dry mixing* antara lain: rasio antara abu terbang dan alkali aktivator, rasio antara NaOH dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dan *water to cement ratio*. Kandungan abu terbang yang direkomendasikan yakni antara 77%-85% dengan alkali aktivator sebesar 15%-23%.

Sehingga dalam penelitian ini menggunakan komposisi abu terbang sebesar 75% dan aktivator sebesar 25%. Pada komposisi NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  akan dilakukan *trial and error* dengan batasan tertentu. Material-material tersebut kemudian diproses dengan metode *dry mixing* sehingga menghasilkan *dry geopolymer mortar*. Dengan komposisi yang tepat diharapkan *dry geopolymer mortar* yang dihasilkan menunjukkan kuat tekan mortar yang

tertinggi. Melalui penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh NaOH terhadap  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  terhadap kuat tekan *dry geopolymer mortar* metode *dry mixing* pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator 3:1.

## KAJIAN PUSTAKA

### *Fly ash*/abu terbang

Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozzolanik. Menurut ACI *Comitee* 226, abu terbang mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27% dengan berat jenis antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Komposisi kimia utamanya terdiri dari silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium ( $\text{CaO}$ ), dimana magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur juga terdapat didalamnya namun dalam jumlah yang lebih sedikit (Hardjito, 2005).

### Geopolimer

Geopolimer adalah polimer anorganik yang terdiri dari aluminosilikat (Si dan Al dalam bentuk oksida) yang teraktifasi oleh larutan basa (basa aktivator/*alkaline activator*). Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia alumino-silikat oksida ( $\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_2$ ) dengan alkali polisilikat menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al (Wallah dan Rangan, 2006).

### Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen *portland*), dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002). Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Mortar geopolimer memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. *Geopolymer* mortar memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap serangan asam sulfat, mempunyai rangkai dan susut yang kecil, tahan terhadap reaksi alkali-silika, tahan terhadap api, mengurangi polusi udara (Fitriani, 2010). Adapun kelemahan dari mortar geopolimer adalah pembuatannya sedikit rumit dari mortar konvensional/*wet mixing* dan belum ada perhitungan *mix* desain yang pasti.

### Agregat halus

Agregat halus (pasir) adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No:1737-1989). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (SK SNI T-15-1991-03).

### Sodium Hidroksida/NaOH

Sodium hidroksida atau NaOH adalah salah satu jenis alkali jenis alkali hidroksida yang digunakan dalam suatu bahan pengikat geopolimer. Material tersebut sangat bersifat higroskopis, apabila NaOH dibiarkan terbuka dan terkontak langsung dengan udara, maka NaOH akan menyerap air yang terkandung di udara dan membuatnya seperti meleleh (*Caustic Soda*, JSIA, 2006). Sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung di dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. NaOH memiliki berat jenis 1,51.

### Sodium Silikat/ $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

Alkali silikat harus dikombinasikan dengan alkali hidroksida, dikarenakan sifat reaksinya yang perlahan, sehingga kekuatan bahan pengikat geopolimer menjadi lebih rendah (Craido et. al., 2010; Palomo et. al., 1999). Sodium Metasilikat berwujud granular berwarna putih. Persentase sodium metasilikat sebesar 95-99,5% dan air 1%. Penggunaan alkali silikat dalam wujud padat akan mengurangi kekuatan pada bahan pengikat geopolimer dibanding menggunakan alkali dalam bentuk larutan (S-D Wang, Scrivener dan Pratt, 1994).

### Metode Pencampuran Kering

Metode pencampuran kering merupakan metode dimana bahan kimia alkali aktivator digiling bersamaan dengan bahan pozzolan dengan komposisi tertentu, sehingga menghasilkan suatu butiran halus mirip semen (semen geopolimer). Semen geopolimer ini cukup ditambahkan saja dalam aplikasi penggunaannya (Tri Eddy, 2016).

### Perhitungan Kuat Tekan Mortar

Setelah melakukan pengujian mortar, analisis data untuk menghitung kuat tekan mortar menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'c = P/A \quad (1)$$

dimana

$f'c$  = kuat tekan mortar, dalam MPa

P = beban maksimum total, dalam N

A = luas dari permukaan yang dibebani, dalam  $\text{mm}^2$

$$\gamma_m = \frac{E_m}{V} \quad (2)$$

dimana:

$\gamma_m$  = berat si mortar, kg/ml

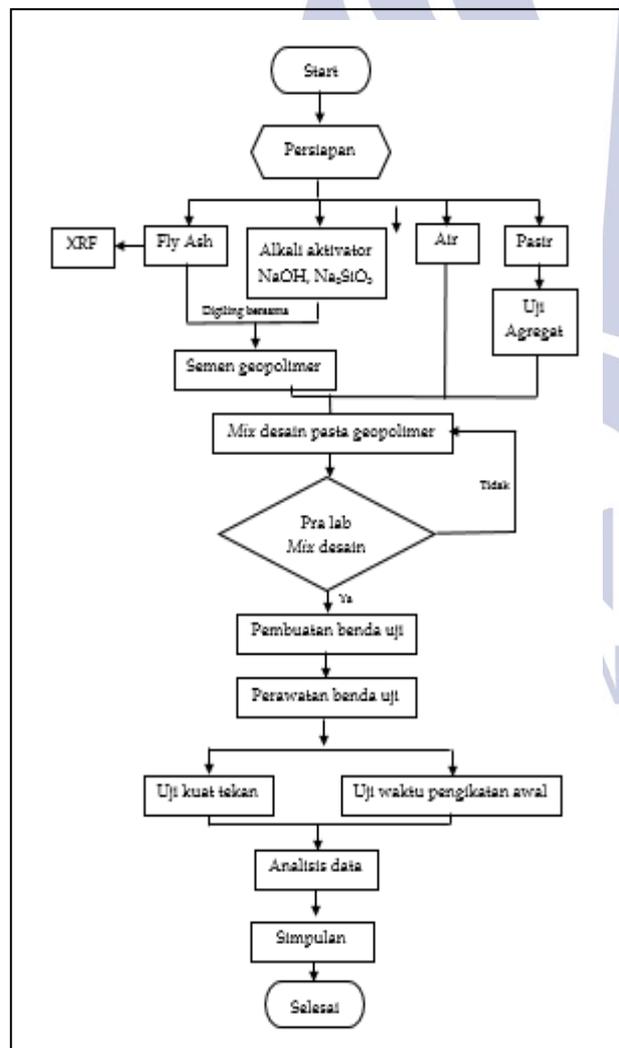
$B_m$  = berat benda uji, kg

V = volume benda uji, ml

## METODE

Penelitian ini termasuk dalam metode eksperimental. Penelitian uji laboratorium ini dilakukan dengan membuat mortar geopolimer berbahan dasar abu terbang dengan kondisi rasio antara abu terbang terhadap aktivator adalah 3:1 yang disimpan dalam suhu ruangan metode polythene curing. Selain itu, penelitian ini mengamati pengaruh variasi NaOH terhadap  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan mengukur hasil eksperimen dalam perhitungan kuat tekan dan waktu pengikatan awal semen. Populasi pada penelitian ini adalah benda uji mortar berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Sampel pada penelitian ini menggunakan 9 benda uji untuk setiap variabel *mix* desain. Sehingga total sampel adalah 9 x 8, diperoleh 72 benda uji.

Sasaran penelitian ini adalah untuk mengatasi isu permasalahan lingkungan yakni *global warming* yang disebabkan oleh kadar karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Selain itu, sasaran penelitian ini adalah untuk mempermudah dalam pembuatan mortar geopolimer.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

Instrumen penelitian dibagi menjadi bahan-bahan penyusun benda uji serta alat yang digunakan. Bahan-

bahan penyusun benda uji terdiri dari *fly ash*/abu terbang, alkali aktivator ( $\text{NaOH}$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), *Portland* semen, pasir, dan air suling. Alat yang digunakan dalam penelitian seperti *mixer*, timbangan, alat penggiling, cetakan mortar berbentuk kubus, wadah pengaduk, kayu pengaduk, plastik, alat vicat, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan adalah metode uji laboratorium dan metode uji literatur dan kepustakaan. Metode uji laboratorium dilakukan untuk mengumpulkan data baik pada tahap pra laboratorium, pembuatan benda uji, pengujian bahan/material melalui tes uji XRF dan tes lainnya, uji kuat tekan mortar, serta pengujian waktu pengikatan awal. Metode uji literatur dan kepustakaan dilakukan dengan mengumpulkan informasi dan literatur dari berbagai referensi yang berkaitan dengan penelitian *dry* geopolimer mortar.

Teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Teknik ini dilakukan dengan cara mendeskripsikan data-data yang telah diperoleh kemudian hasil pengolahan tersebut dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafis sehingga lebih mudah ditangkap maknanya. Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan atau menggambarkan data tersebut sebagaimana adanya dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami, dan dipresentasikan sehingga pada intinya adalah sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang diteliti (Sugiyono, 2007:147).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

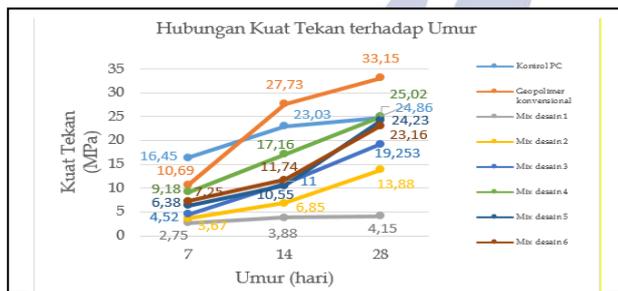
Berikut adalah hubungan berat isi terhadap kuat tekan mortar mortar

Tabel 1. Hubungan Berat Isi terhadap Kuat Tekan

Variabel	Berat isi (kg/ml)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
Kontrol PC	0,00210	24,860
Geopolimer konvensional/ <i>wet mixing</i>	0,00219	33,150
<i>Mix</i> desain 1	0,00217	4,150
<i>Mix</i> desain 2	0,00228	13,880
<i>Mix</i> desain 3	0,00214	19,250
<i>Mix</i> desain 4	0,00217	25,020
<i>Mix</i> desain 5	0,00214	24,230
<i>Mix</i> desain 6	0,00225	23,160

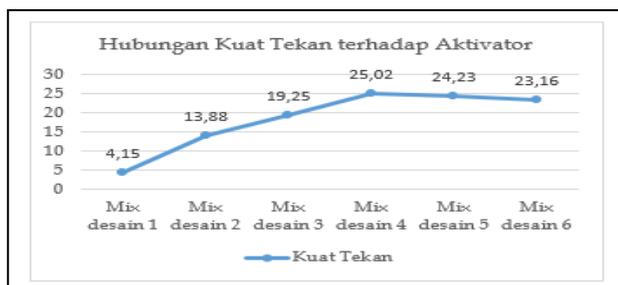
Berdasarkan grafik dan tabel di atas, *dry geopolimer* mortar cenderung lebih ringan dari geopolimer konvensional/*wet mixing*. Hal ini juga mengindikasikan kuat tekan geopolimer konvensional/*wet mixing* lebih tinggi dibandingkan kuat tekan mortar *dry* geopolimer

Berat volume semen lebih kecil daripada berat volume mortar *dry* geopolimer. Hal ini ditunjukkan dengan berat volume terbesar mortar *dry* geopolimer adalah pada *mix* desain 4 dengan kuat tekan tertinggi memiliki kuat tekan lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kontrol PC. Pada *mix* desain 2 dan 6 memiliki berat volume yang lebih besar dibandingkan dengan *mix* desain 4 namun memiliki kuat tekan yang lebih kecil dari *mix* desain 4. Hal ini dikarenakan rongga/pori yang terdapat di dalamnya. Meskipun berat volumenya besar tidak menjamin rongga dalam mortar tersebut kecil. Rongga yang terdapat pada mortar mempengaruhi kepadatan mortar tersebut sehingga jika banyak terdapat rongga dalam mortar maka kuat tekan juga semakin kecil. Namun, pada mortar yang kuat tekannya tinggi, pasti memiliki berat volume yang tinggi pula.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Umur Mortar

Berdasarkan grafik di atas, dapat dijelaskan jika semakin bertambahnya umur mortar maka semakin tinggi pula kuat tekan mortarnya. Pada umur 7 hari, mortar yang mencapai kuat tekan tertinggi adalah kontrol PC. Hal ini ditunjukkan dengan waktu pengikatan awal mortar kontrol PC yang lebih cepat dibandingkan dengan mortar geopolimer. Namun ketika umur 14 hari, mortar geopolimer konvensional/*wet mixing* mengalami kenaikan yang signifikan. *Dry* geopolimer mortar memiliki fluktuasi yang hampir sama di semua *mix* desain dimana pada umur 7 dan 14 hari kenaikan kuat tekannya lebih rendah dibandingkan kontrol PC dan kontrol geopolimer konvensional/*wet mixing* karena waktu pengikatan yang lebih lambat.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Aktivator

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan *mix* desain 1 hingga 4 mengalami kenaikan seiring dengan penambahan komposisi sodium silikat dan penurunan komposisi sodium hidroksida namun pada *mix* desain 5 dan 6 nilai kuat tekan mengalami penurunan padahal mengandung sodium silikat lebih banyak dibandingkan *mix* desain lainnya. Hal ini menandakan kecilnya nilai kuat tekan yang dihasilkan pada *mix* desain 1 dikarenakan banyak NaOH yang tidak bereaksi sehingga terdegradasi menjadi  $\text{Na}_2\text{O}$  yang dibuktikan dengan serpihan putih pada tepi cetakan. Pada *mix* desain 5 dan 6, nilai kuat tekan mengalami penurunan yang disebabkan terlalu banyak sodium silikat pada mortar. Pada saat proses pengerasan mortar, pada bagian tepi cetakan muncul serbuk berwarna coklat yang mana adalah sisa silikat dan *fly ash* yang tidak bereaksi karena komposisi sodium hidroksida (NaOH) terlalu sedikit.

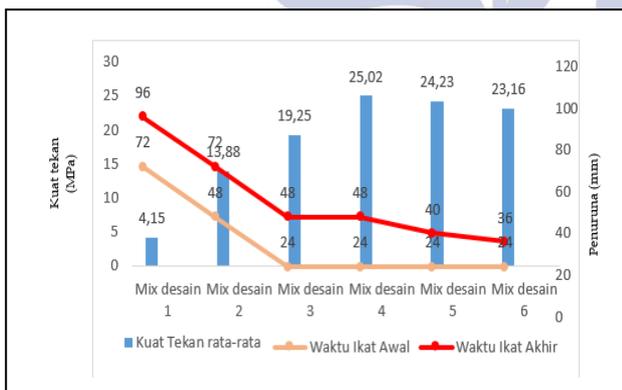
Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  memberikan pengaruh terhadap sifat fisik dari *geopolymer* mortar. Kenaikan kandungan antara  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{SiO}_2$  sampai batas kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  tertentu akan mengakibatkan peningkatan kuat tekan *geopolymer* mortar. Kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  yang sangat kecil akan memperlemah kuat tekan karena kecilnya komponen yang berperan untuk proses pelarutan unsur silika dan alumina dari *fly ash* untuk membentuk *geopolymer* mortar. Akan tetapi kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  yang sangat tinggi juga dapat memperlemah kuat tekan *geopolymer* mortar (Fitriani, 2010).

Tabel 2. Kuat Tekan Rata-Rata pada Umur 28 Hari

No	Variabel	Kuat tekan rata-rata saat 28 hari (MPa)
1	Kontrol PC	24,860
2	Geopolimer konvensional/ <i>wet mixing</i> 12 M	33,150
3	Mix desain 1	4,150
4	Mix desain 2	13,880
5	Mix desain 3	19,250
6	Mix desain 4	25,020
7	Mix desain 5	24,230
8	Mix desain 6	23,160

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui jika antara *mix* desain 1 hingga *mix* desain 6, nilai kuat tekan tertinggi berada pada *mix* desain 4 yaitu 25,02 MPa dengan komposisi rasio antara sodium hidroksida dengan sodium silikat sebesar 1:2,5. Bila dibandingkan dengan kontrol *Portland* cement, nilai kuat tekan *Portland* cement sebesar 24,86 MPa lebih kecil dari nilai kuat tekan *dry* geopolimer mortar dengan rasio aktivator 1:2,5. Hal ini menandakan bahwa *fly ash* dan aktivator NaOH serta  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan metode *dry mixing* pada kondisi rasio abu

terbang terhadap aktivator 3:1 efektif jika dijadikan sebagai pengganti *Portland* cement karena menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Bila dibandingkan dengan geopolimer konvensional/*wet mixing* 12 molar, maka nilai kuat tekan *dry* geopolimer mortar masih lebih kecil. NaOH sebagai alkali mengaktifkan prekursor dengan mendissolusikan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ke dalam monomer Si(OH)<sub>4</sub> dan Al(OH)<sub>4</sub>. Kemudian selama proses perawatan temperatur (*curing*), monomer-monomer tersebut terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi dan berikatan silang (Davidovits, 1991). Struktur kimia pada sodium padat lebih kompleks namun dalam bentuk larutan, strukturnya terdiri dari 6 molekul silikon yang disebut *hexamer*. Hal tersebut dikarenakan daya pelarut yang lebih baik jika sodium berbentuk larutan dibandingkan dengan yang berbentuk padatan. Oleh karena struktur yang lebih kompleks, maka Si(OH)<sub>4</sub> dan Al(OH)<sub>4</sub> juga lebih sulit terbentuk sehingga jumlah yang dihasilkan juga sedikit. Sedikitnya jumlah Si(OH)<sub>4</sub> dan Al(OH)<sub>4</sub> mengakibatkan reaksi geopolimerisasi tidak terjadi dengan sempurna sehingga dapat mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan alkali silikat dalam wujud padat akan mengurangi kekuatan pada bahan pengikat geopolimer dibanding menggunakan alkali dalam bentuk larutan (S-D Wang, Scrivener dan Pratt, 1994).



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Setting Time

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan tertinggi adalah *mix* desain 4 dengan waktu pengikatan awal 24 jam setelah pembuatan dan waktu pengikatan akhir 45 jam setelah pembuatan. Kuat tekan terkecil berada pada *mix* desain 1 dengan waktu ikat awal 72 jam setelah pembuatan dan waktu ikat akhir 96 jam setelah pembuatan. Hal ini disebabkan karena jumlah Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yang ada dalam campuran binder lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah NaOH sehingga mempercepat reaksi polimerisasi (Djwantoro, 2005).

Berdasarkan grafik di atas, semakin besar kandungan sodium silikat dalam *mix* desain maka semakin tinggi pula

waktu pengikatan awal dan akhirnya (*setting time*). Semakin tinggi waktu pengikatan awal dan akhirnya, maka semakin tinggi pula kuat tekannya. Namun pada *mix* desain 5 dan 6, kuat tekan *dry* geopolimer mortar menurun berbanding linier dengan waktu setting timenya. Hal ini dikarenakan, karena *setting time* terjadi terlalu cepat maka proses geopolimerisasi yang terjadi tidak maksimal sehingga ketika mortar belum mencapai nilai kuat tekan tertinggi, mortar telah mencapai waktu pengikatan akhir, sehingga kuat tekannya menurun seiring penambahan sodim silikat. Mortar mencapai kuat tekan tertinggi yaitu pada *mix* desain 4 dengan rasio sodium hidroksida terhadap sodium silikat adalah 1:2,5.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing dalam penelitian ini Bapak Arie Wardhono yang telah membimbing serta memfasilitasi penelitian ini.

### PENUTUP

#### Simpulan

Simpulan yang didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Hasil kuat tekan maksimum pada kondisi rasio abu terbang terhadap aktivator sebesar 3 :1 adalah 25,02 MPa yang terdapat pada variasi *mix* desain 4 yaitu dengan rasio sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) sebesar 1 : 2,5.
2. Kuat tekan *dry* geopolimer mortar dipengaruhi oleh banyaknya kandungan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. Kandungan SiO<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>O yang optimum pada Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> akan menunjukkan kuat tekan yang tertinggi.
3. Waktu pengikatan *dry* geopolimer mortar tercepat pada variasi *mix* desain 6 dengan rasio sodium hidroksida (NaOH) terhadap sodium silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) sebesar 1 : 3,5 karena semakin banyak kandungan silika di dalam mortar maka pengikatan akan semakin cepat.
4. Waktu pengikatan *dry* geopolimer mortar cenderung lebih lambat dibandingkan dengan waktu pengikatan *Portland* cement dan geopolimer konvensional/*wet mixing* karena struktur kimia yang lebih kompleks.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Gawwad, H.A., & Abo-El-Enein, S.A. 2016. "A Novel Methode to Produce *Dry Geopolymer Cement Powder*". *Jurnal Housing and Building*

- National Research Center (HBRC). No. 12: hh 13-24.
- ASTM. 2003. *Standard Specification for Mortar Cement*. United States.
- ASTM. 2003. *Standard Specification for Coal Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. United States.
- Badan Standar Nasional. 2002. *Uji Kuat Tekan Mortar*. Jakarta.
- Badan Standar Nasional . 2008. *Cara Uji Bera Jenis dan Peyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2014. *Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozzolan Alam Mentah atau Telah Dikalsinasi untuk Digunakan dalam Beton*. Jakarta.
- Bayuaji, Ridho, Yasin, Abdul Karim, Susanto, Tri Eddy, & Darmawan, M. Sigit. 2017. "A Review in Geopolymer Binder with Dry Mixing Method (Geopolimer Cement)". College Park: American Institute of Physics.
- Bayuseno, Anthonisius P, Susilo Adi Wiyanto, Juwantono. 2010. "Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik dari Erupsi Gunung Merapi". *ROTASI*. Vol.12 (4).
- Davidovits, J. 2013. *Geopolymer Cement, a review*. Saint-Quentin: Institut Geopolymere.
- Davidovits, J. 2016. *Webinar Spring 2016 Special Focus on Geopolymer Cements*. France: Recorded from live session 19-20 April 2016. 135mins.
- Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan, dan Oktavina Damayanti. 2007. "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif". *Jurnal Pondasi*. Vol.13 (2).
- Fathurrahman, Gilang, Amun Amri, Chairul. 2018. "Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Jumlah Grafena Oksida pada Geopolimer Berbasis Limbah Fly ash Pabrik Kelapa Sawit". *Jom FTEKNIK*. Vol. 5 (1).
- Fitriani, Dian Rahma. 2010. *Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator terhadap Kuat Tekan Fly ash Based Geopolymer Mortar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hardjito, D., & Rangan, B.V. (2005). *Development and Properties of Low-Calcium Fly ash-Based Geopolymer Concrete*. Australia: Faculty of Engineering Curtin University of Technology.
- Manuahe, Riger, Sumajouw, Marthin D.J., & Windah, Reky S. 2014. "Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly ash)". *Jurnal Sipil Statik*. Vol.2 (6).
- Murali, Kallempudi, Meena T, Chaitanya Srikrishna T, Peta Purnachandra Sai. 2018. "An Experimental Study on Factors Influencing the Compressive Strength of Geopolymer Mortar". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 9 Issue 1.
- NagrendraReddy, K, K Surya Narayana, Damodhar Reddy, B Sarath Chandra, dan Y Himath Kumar. 2017. "Effect of Sodium Hydroxide and Sodium Silicate Solution on Compressive Strength of Metakaolin and GGBS Geopolymer". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 8 Issue 4.
- Sugiyono, 2013. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Surja, Reiner Tirtamulya, Ricard Mintura, Antoni, Djwantoro Hardjito. *Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolimer Berbahan Dasar Fly ash Tipe C*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Tanpa Tahun. *Teknik Perawatan dan Perbaikan Gedung*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Umboh, Alfian Hendri, Sumajouw, D.J., & Windah, Recky S. 2014. "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly ash) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton". *Jurnal Sipil Statik*. Vol 2 (7).
- Veliyati. 2010. *Pengaruh Faktor Air Binder terhadap Kuat Tekan dan Workability Fly ash Based Geopolymer Mortar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Wallah, S.E., & Rangan, B. V. (2006). *Low Calcium Fly ash Based Geopolymer Concrete: Long-Term Properties*. Perth: Faculty of Engineering Curtin University of Technology.
- World Meteorological Organization, & Global Atmosphere Watch. "The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observation trough 2006". 2017. *WMO Greenhouse Gas Bulletin*. No. 13.
- Yasin, Abdul Karim. 2017. *Rekayasa Beton Geopolimer Berbasis Fly ash*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Rowland, Jonathan. *World cement: China drags on global cement consumption growth*. 1 Februari 2018. www.worldcement.com.