

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI *FLY ASH* TERHADAP KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENAMBAHAN KAPUR TOHOR

Mochamad Solikin^{1*}, Maasah Nabillah²

^{1,2}Teknik Sipil, Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: msolikin@ums.ac.id

Abstrak

Penggunaan fly ash dalam beton menjadi salah satu subyek penelitian ekstensif selama beberapa dekade untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. Pengaruh penggantian semen dengan fly ash dalam pembuatan beton dipercaya mampu mengakibatkan beton menjadi impermeable sedangkan penambahan kapur tohor (CaO) sebagai bahan ikat yang dipercaya mampu meningkatkan kuat tekan beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan fly ash sebagai penggantian semen sebanyak 15% dan 30% yang diperkuat dengan kapur tohor sebanyak 5% dari berat fly ash yang diuji terhadap sifat beton segar, perkembangan nilai kuat tekan beton yang diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari, serta uji daya serap air beton. Pengujian kuat tekan sendiri menggunakan silinder beton ukuran 10 cm x 20 cm dan untuk pengujian daya serap air menggunakan silinder ukuran 10 cm x 5 cm. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai slump test tertinggi yaitu pada beton segar dengan kandungan 30% fly ash + 5% kapur tohor, dimana hal ini lebih tinggi dibandingkan beton normal. Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring lamanya umur beton, sekaligus penggunaan 30% fly ash + 5% kapur tohor menjadikan kuat tekannya lebih tinggi dibandingkan beton normal, meskipun tidak terlalu signifikan. Pemakaian variasi fly ash dan kapur tohor mengakibatkan serapan airnya semakin kecil dibandingkan beton normal, dimana beton dengan komposisi 30% fly ash + 5% kapur tohor daya serap airnya yang paling rendah dan yang paling kedap air.

Kata kunci: fly ash, kapur tohor, kuat tekan beton, serapan air

Abstract

The utilization of fly ash in concrete has been started in 1930s and followed by extensive research to improve its strength and durability. The effect of partially cement replacement by fly ash in concrete manufacturing is believed to make concrete to become impermeable while the addition of lime (CaO) is also believed to increase the compressive strength of concrete. This study implement experimental program with the aim of finding out the effect of the use of fly ash as a cement replacement at the amount of 15% and 30% and also use lime powder of 5% by weight of fly ash. The testing programs includes the properties of fresh concrete, the development of concrete compressive strength at the age of 3, 7, 14, and 28 days, as well as the water absorption of concrete. The compressive strength testing itself uses cylinder concrete size 10 cm x 20 cm and for water absorption testing using a cylinder size of 10 cm x 5 cm. Based on the results of the study, the highest slump test value was obtained in fresh concrete with a content of 30% fly ash + 5% lime tohor, which is higher than normal concrete. The compressive strength of concrete increases with the increase of concrete age, as well as combination of 30% fly ash + 5% lime powder makes the compressive strength slightly higher than normal concrete. The use of variations of fly ash and quicklime results in smaller water absorption compared to normal concrete, where concrete with a composition of 30% fly ash + 5% quick lime has the lowest water absorption capacity and the most waterproof.

Keywords: concrete, fly ash, lime tohor

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia sekarang ini telah memungkinkan berkembangnya bangunan berbahan beton, yang menyebabkan peningkatan produksi beton menjadi cukup besar. Beton merupakan kombinasi dari sejumlah besar sumber daya alam seperti agregat, semen, dan air. Namun, produksi semen mengonsumsi energi yang sangat besar dan menyebabkan sekitar 7% dari total emisi

gas rumah kaca di dunia (Malhotra, 2002). Untuk mengurangi penggunaan semen dilakukan upaya untuk menggantikan peran semen dengan proporsi tertentu sebagai pengganti, salah satunya yaitu dengan *fly ash*.

Pada dasarnya, *fly ash* mempunyai bentuk butiran partikel sangat halus yang dapat menjadi pengisi rongga-rongga (*filler*) dalam beton sehingga mampu meningkatkan kekuatan beton

dan menambah kekedapan beton terhadap air serta mempunyai keunggulan dapat mencegah keretakan halus (*crack*) pada permukaan beton (Luan, 2019).

Penggunaan *fly ash* menjadi salah satu subyek penelitian ekstensif selama beberapa dekade untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton. *Fly ash* adalah produk sampingan dari pembakaran batu bara dan merupakan zat *pozzolan*. Ketika dicampur dengan semen *Portland* dan air akan menghasilkan produk yang mirip dengan yang dibentuk oleh hidrasi semen, tetapi dengan struktur mikro yang lebih padat dengan permeabilitas yang lebih rendah. Untuk beton mutu tinggi disarankan menggunakan *fly ash* sekitar 15-25% (ACI Committee 211, 2008), sedangkan lebih dari 50% dari total bahan pengikat dapat digunakan untuk beton kekuatan normal (Carette, et al., 1993).

Penelitian mengenai penggantian sebagian semen dengan *fly ash* juga pernah dilakukan dalam jurnal penelitian Hanafi (2014) yang berjudul “*Self Healing Capability* Beton dengan Persentase *Fly Ash* 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 45% dan 55% sebagai Pengganti Sebagian Semen Ditinjau dari *Workability*, Kuat Tekan dan Permeabilitas” diketahui seberapa besar pengaruh variasi penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen, terlihat pada umur 28 & 56 hari semakin tinggi kadar *fly ash* semakin meningkat kuat tekannya. Pengujian *slump flow* juga dilakukan, dimana menunjukkan semakin besar kadar *fly ash*nya semakin tinggi pula nilai *slump* yang dihasilkan. Begitupun dengan nilai permeabilitas yang semakin kecil seiring dengan semakin banyaknya kadar *fly ash*.

Di samping penggunaan *fly ash* dalam beton, penggunaan kapur juga mampu mempengaruhi karakteristik dari beton. Dalam penelitian ini kapur yang digunakan adalah kapur tohor (CaO). Kapur sendiri berfungsi sebagai bahan ikat pada beton, bila dipakai bersama semen *Portland* sifatnya menjadi lebih baik dan mengurangi kebutuhan semen *Portland* (Priyanto, 2013). Kapur tohor (CaO) adalah hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (SNI 03-4147-1996). Kapur tohor merupakan produk konvensional dari industri batu kapur, yang dibuat melalui pembakaran batu kapur dalam tungku kalsinasi.

Penelitian mengenai kinerja kapur tohor juga pernah diteliti dalam jurnal yang berjudul “Analisis Kuat Tekan Beton K175 dengan Campuran Serbuk Kapur dan Serbuk Batu Bata untuk Penghematan Semen sebagai Bahan Pengikat Dasar” (Cruz & Supriatna, 2020),

dimana bahan pengikat selain semen yang digunakan dalam campuran beton adalah kapur tohor dan serbuk batu bata dengan pengujian kuat tekan beton didapatkan hasil yang maksimal atau optimum dari kuat tekan beton normal.

Menurut SNI 1974:2011, kuat tekan beton adalah kemampuan beton secara keseluruhan menerima beban axial tekan maksimum yang ditransferkan ke daerah penampang beton (benda uji). Besaran dari kuat tekan beton didapat dari beban axial tekan maksimum persatuan luas penampang yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (*Compression Testing Machine*).

Kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh kualitas beton segar yang baik yang dapat ditinjau dari nilai *slump*-nya. Berdasar SNI 1972:2008 *slump test* merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* (kerucut *Abrams*) diangkat. Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecakan suatu adukan beton yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). *Slump* pada dasarnya adalah suatu pengujian sederhana untuk mengetahui *workability* pada beton segar sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran.

Selain itu, beton yang baik adalah beton dengan daya serap air yang rendah atau kekedapannya tinggi, maka yang dimaksud dengan beton kedap air menurut persyaratan SNI 03-2914-1992 yaitu tidak mudah ditembus air dan memenuhi ketentuan minimum. Besar kecilnya penyerapan air sangat dipengaruhi pori atau rongga yang terdapat pada beton. Semakin banyak pori yang terkandung dalam beton maka akan semakin besar pula daya serapnya sehingga ketahanannya akan berkurang. Mengacu pada SNI 03-6433-2000, pengujian sifat fisik ini dilakukan untuk mengetahui persentase air yang diserap oleh beton yang telah direndam.

Berbeda dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penggantian semen dengan *fly ash* dan penambahan kapur tohor (CaO) yang dipercaya mampu mempengaruhi karakteristik beton akan diteliti. Dalam penelitian ini variasi penggunaan *fly ash* 15% dan 30% penggantian semen serta penambahan kapur tohor 5% dari berat *fly ash* pada beton diteliti dengan beton normal sebagai control. Pengaruh penggunaan *fly ash* dan kapur tohor dalam penelitian ini ditinjau dari sifat beton segar dengan pengujian *slump*, perkembangan kuat tekan beton pada umur *curing* yang berbeda, dan kemampuan daya serap air beton. Sehingga diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi salah satu dasar dalam

mengembangkan beton berbahan dasar *fly ash* dan pemanfaatan kapur tohor dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut kedepannya.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menggunakan suatu percobaan guna mendapatkan hasil yang dapat menjelaskan hubungan antara variabel-variabel dalam rumusan masalah. Metode penelitian disusun dalam beberapa tahap.

Penelitian ini diawali dengan tahapan mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan terlebih dahulu, dimana alat yang digunakan dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, untuk bahan seperti semen, agregat halus, agregat kasar, dan *fly ash* berasal dari PT. Solusi Bangun Beton (Semen Indonesia Group Batching Plant Yogyakarta), dan untuk kapur tohor (CaO) berasal dari Bantul, Yogyakarta.

Bahan yang telah dipersiapkan harus diuji kualitasnya terlebih dahulu. Untuk agregat halus dilakukan pengujian kandungan bahan organik, pengujian *Saturated Surface Dry (SSD)*, pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian kandungan lumpur, serta pengujian analisis saringan. Untuk agregat kasar dilakukan pengujian keausan, pengujian berat jenis dan penyerapan, serta pengujian analisis saringan. Sedangkan untuk semen, *fly ash*, kapur tohor, dan air dilakukan uji visual dan pengujian ikatan awal.



Gambar 1. *Fly ash*



Gambar 2. Kapur tohor (CaO)

Setelah mempersiapkan alat dan bahan yang dapat digunakan, dapat dilakukan pembuatan benda uji, tapi sebelum itu perlu dilakukan perencanaan campuran beton. Perencanaan campuran menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI)* dengan f'_c 25 MPa. Untuk pengujian kuat tekan benda uji berbentuk silinder ukuran 10 cm x 20 cm dan untuk pengujian daya serap air benda uji silinder berukuran 10 cm x 5 cm. Pada beton segar dilakukan pengujian *slump* untuk mendapatkan nilai *slump* yang selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan (bekisting). Setelah benda uji dilepas dari cetakan dapat direndam.

Berat volume rancangan pada masing-masing jenis sampel memenuhi syarat, dimana menurut SNI 03-2834-2000, syarat berat volume rancangan campuran beton sebesar 2200-2500 kg/m^3 . Sehingga dalam penelitian ini *mix design* yang telah dirancang dapat digunakan dalam pembuatan campuran beton.

Selanjutnya dapat dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine (CTM)* serta pengujian daya serap air beton pada umur 28 hari dengan persentase perbandingan berat beton saat kondisi jenuh kering permukaan dan berat kering oven, sehingga didapatkan hasil dan dapat dilakukan analisis data dengan pembahasan. Setelah itu, dapat diambil kesimpulan dan saran, dapat juga berisikan rekomendasi teknis yang berhubungan dengan penelitian.

Tabel 1.
Hasil perencanaan *mix design*

Jenis Sampel	fas	Semen (kg/m^3)	Air (lt/m^3)	Pasir (kg/m^3)	Kerikil (kg/m^3)	<i>Fly Ash</i> (kg/m^3)	CaO (kg/m^3)	Berat Volume (kg/m^3)
FA 0%	0,44	413,64	182	810,02	887,36	0,00	0,00	2293,02
FA 15%+CaO	0,44	351,59	182	805,51	882,41	62,05	3,10	2286,66
FA 30%+CaO	0,44	289,55	182	800,99	877,47	124,09	6,20	2280,30

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian yang telah dilakukan, agregat halus dan dagregat kasar yang digunakan dalam kondisi baik dan memenuhi persyaratan sesuai standar yang ada. Semen, *fly ash*, kapur tohor, dan air yang digunakan juga dalam kondisi baik.

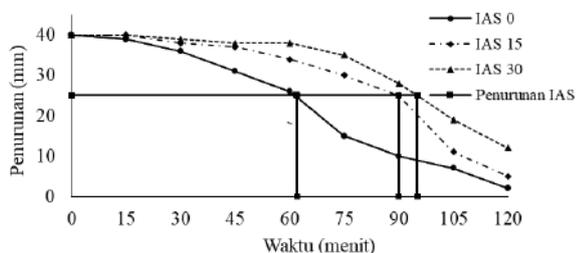
3.1. Pengujian Ikatan Awal Semen

Pengujian material semen, *fly ash*, dan kapur tohor dengan uji ikatan awal semen menunjukkan kondisi yang baik.



Gambar 3. Pengujian ikatan awal semen

Hasil pengujian ikatan awal semen dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Grafik waktu penurunan ikatan awal semen

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 waktu ikat awal semen yang baik berada pada 45 menit – 375 menit. Hasil pengujian menunjukkan waktu ikat awal semen kontrol atau tanpa *fly ash* dan kapur tohor sebesar 62 menit. Sedangkan pada campuran semen dengan *fly ash* dan kapur tohor waktu ikat awal semen untuk penggantian 15% *fly ash* sebesar 90 menit dan untuk penggantian 30% *fly ash* sebesar 95 menit. Sehingga, ikatan awal semen yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikatakan baik dan memenuhi standar. Selain itu, dengan penggunaan *fly ash* terlihat bahwa semakin banyak penggunaan *fly ash*, maka waktu ikat awal semen yang dihasilkan menjadi semakin

lama. Ketika senyawa semen dan air bereaksi dengan *fly ash* akan terjadi proses hidrasi yang semakin panjang sehingga mengakibatkan *setting time* yang terjadi semakin lama. Dalam penelitian Yusuf, et al.(2020) untuk waktu pengikatan awal semen yang mengandung *fly ash* membutuhkan waktu 131-172 menit lebih lama dibanding semen *Portland* biasa. Pada penelitian ini waktu ikat awal semen dengan *fly ash* dan kapur tohor terlihat sedikit lebih cepat, hal ini menunjukkan dengan ditambahkannya kapur tohor mampu sedikit mempercepat waktu ikat awal semen karena kapur tohor dengan kandungan CaO-nya dapat membantu proses pengikatan pasta pada suhu normal. Telah dijelaskan dalam penelitian Nath dan Sarker (2012) dimana komposisi penggunaan *fly ash* membutuhkan waktu pengikatan yang sangat lama, sehingga dengan adanya kapur (CaO) dapat mempercepat proses pengikatan pasta dengan suhu normal ruangan.

3.2. Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan pada beton segar, dimana ketika campuran beton yang dibuat telah tercampur secara merata dan homogen sebelum dilakukan pencetakan. Nilai *slump* rencana dalam penelitian ini ditentukan sebesar 25 mm – 90 mm. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Pengujian slump

Tabel 2
Hasil pengujian slump

Jenis Sampel	Slump (mm)			Rata-rata (mm)
FA 0%	41	40	39	40
FA 15%+CaO	62	60	58	60
FA 30%+CaO	66	65	64	65

Berdasarkan Tabel 2. didapatkan nilai *slump* tertinggi diperoleh pada beton dengan

kandungan 30% *fly ash*+CaO yaitu sebesar 65 mm dan pada beton dengan kandungan 15% *fly ash*+CaO besarnya nilai *slump* adalah 60 mm, sedangkan nilai *slump* terendah diperoleh pada beton normal tanpa campuran *fly ash* dan kapur tohor sebesar 40 mm. Ketiga jenis sampel menunjukkan bahwa adukan beton dapat dipakai atau memenuhi untuk pembetonan massal sesuai perencanaan tinggi nilai *slump*. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dan kapur tohor sebagai bahan tambah menunjukkan semakin banyak penggunaannya maka semakin tinggi nilai *slump* yang dihasilkan dan memberikan efek nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Peningkatan ini disebabkan oleh butir *fly ash* yang berbentuk bulat sehingga mampu mengurangi gesekan antar partikel dan memiliki sifat *workability* yang baik. Jika dibandingkan dengan beton normal yang nilai *slump*-nya lebih rendah dengan jumlah air yang sama, ini menunjukkan bahwa beton dengan *fly ash* membutuhkan air yang lebih sedikit. Hal ini serupa dengan jurnal penelitian Longarini, et al. (2014) dimana penggunaan *fly ash* dalam campuran beton menghasilkan peningkatan yang signifikan dari sifat beton segar sehingga mampu mengoptimalkan rasio air-semen mengikuti kebutuhan air yang lebih rendah dalam kondisi kemampuan yang sama. Selain itu, dalam penelitian yang telah dilakukan Rosidawani, et al. (2020) menunjukkan nilai *slump* beton segar dengan *fly ash* lebih tinggi dibandingkan beton normal dan persentase kenaikannya sebesar 21%-25%. Sedangkan dalam penelitian ini persentase nilai *slump* yang dihasilkan mencapai 30% lebih tinggi, hal ini dikarenakan kapur tohor yang digunakan mampu memberikan efek dilusi atau pengenceran dimana konsentrasi campuran beton yang pekat menjadi lebih encer sehingga *slump* yang dihasilkan cukup tinggi. Hal ini senada dengan jurnal penelitian Wang dan Luan (2018) dimana penambahan kapur tohor memberikan efek pengenceran dan nukleasi pada campuran beton.

3.3. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan beton silinder berukuran Ø10 cm x 20 cm yang diuji saat beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan alat uji Compression Testing Machine (CTM).

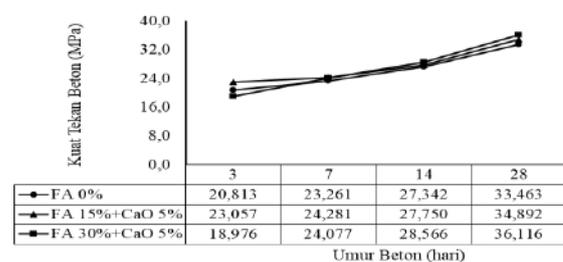
Berdasarkan Gambar 7. menunjukkan bahwa hasil kuat tekan yang terjadi dari semua jenis sampel memenuhi dan lebih tinggi dari kuat tekan rencana. Dapat diketahui juga bahwa berat

jenis dari masing-masing jenis beton bervariasi, terutama pada umur 28 hari berat jenis beton terbesar yaitu pada beton dengan campuran 30% *fly ash* dan kapur tohor sebesar 2393,69 kg/m³, sedangkan yang terkecil terdapat pada beton normal 2340,64 kg/m³. Dalam hal ini dikarenakan sifat *fly ash* yang mampu mengisi rongga-rongga pada beton atau sebagai *filler* mengakibatkan semakin banyak penggunaan *fly ash* maka berat jenis betonnya semakin tinggi, sehingga beton menjadi lebih padat dan memperkecil rongga yang ada. Hal ini senada dengan penelitian Lili (2015) dimana dengan semakin banyak penggunaan *fly ash* pada beton dapat menjadikannya pengisi dan mampu memadati pori yang ada, sehingga beton lebih padat dan berat jenisnya meningkat.



Gambar 6. Pengujian kuat tekan

Hasil pengujian kemudian dikonversi dengan pembagi 1,04 agar diperoleh kuat tekan silinder Ø15 cm x 30 cm. Hasil pengujian perkembangan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik perkembangan kuat tekan beton

Dapat diketahui juga kuat tekan mengalami peningkatan seiring dengan lamanya umur beton dan seiring bertambahnya penggunaan *fly ash* dengan kapur tohor. Didapatkan hasil pada umur 3 hari, beton dengan kandungan 30% *fly ash*+CaO kuat tekannya yang paling rendah, tapi seiring lamanya umur beton kuat tekannya mengalami peningkatan. Sedangkan beton dengan kandungan

15% *fly ash*+CaO pada umur 3 dan 7 hari menunjukkan kuat tekan yang paling tinggi.

Selanjutnya, pada umur 14 hari dan 28 hari beton terus mengalami peningkatan kuat tekan, dimana kuat tekan tertinggi ditunjukkan oleh beton dengan kandungan 30% *fly ash*+CaO dan kuat tekan terendah adalah beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan *fly ash* ditambah kapur tohor pada beton, maka semakin tinggi kuat tekannya. Dengan kata lain penggunaan *fly ash* dan kapur tohor dalam campuran beton sangat mempengaruhi kuat tekan beton.

Meskipun pada dasarnya beton dengan campuran *fly ash* kuat tekannya akan semakin rendah dibandingkan kuat tekan beton normal tanpa *fly ash*, terbukti dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Hanafi (2014) dimana penggunaan *fly ash* pada campuran beton memiliki nilai kuat tekan awal yang kurang baik dibandingkan beton normal dan perkembangannya agak lambat pada umur beton ≤ 28 hari terutama pada beton dengan kadar *fly ash* $\geq 20\%$. Maka dari itu, dengan ditambahkannya kapur tohor dalam campuran beton *fly ash* ini dapat menjadi penunjang peningkatan kuat tekan pada umur awal. Meskipun peningkatan yang terjadi tidak terlalu tinggi dibandingkan beton normal. Kemampuan kapur tohor sebagai penunjang peningkatan kuat tekan pada beton *fly ash*, terutama pada umur awal ini dikarenakan kapur tohor mampu mempercepat waktu hidrasi semen.

Dari *fly ash* yang bersifat *pozzolan* jika dicampur dengan kapur (CaO) dan air akan bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang mampu bekerja dengan baik, mudah mengeras dan mampu meningkatkan kuat tekan awal beton. Dalam jurnal penelitian Wibowo (2012) juga mengungkapkan bahwa *fly ash* dengan butiran yang berbentuk bundar ($1\ \mu\text{m}$ - $200\ \mu\text{m}$) ini biasanya sangat aktif, sehingga mudah mengeras apabila dicampur dengan kapur dan air.

3.4. Pengujian Daya Serap Air Beton

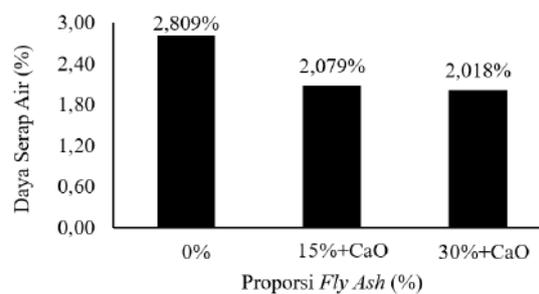
Pengujian daya serap air beton menggunakan beton silinder berukuran $\text{Ø}10\ \text{cm} \times 5\ \text{cm}$ yang diuji saat beton berumur 28 hari. Untuk hasil pengujian perkembangan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, beton dengan kandungan *fly ash* dan kapur tohor nilai daya serap airnya lebih rendah dibandingkan pada beton normal dan nilai daya serap air paling rendah terlihat pada beton dengan kandungan 30% *fly ash*+CaO. Terlihat bahwa semakin tinggi kadar

penggunaan *fly ash* dan penambahan kapur tohor maka semakin rendah kemampuan beton untuk menyerap air atau beton menjadi kedap air. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dan kapur tohor yang dicampurkan ke dalam campuran beton mampu menjadi *filler* atau pengisi rongga pada beton, karena ukuran butir *fly ash* yang lebih kecil ($45\ \mu\text{m}$) dibandingkan dengan ukuran butiran semen ($75\ \mu\text{m}$) sehingga mampu mengisi rongga atau pori yang terdapat pada beton, maka dari itu daya serap airnya rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Choiri (2013) yaitu beton yang ditambah campuran *fly ash* akan lebih padat dan kedap dikarenakan tidak terjadi rongga-rongga, dimana bagian rongga terisi oleh abu terbang.



Gambar 8. Pengujian daya serap air beton



Gambar 9. Grafik daya serap air beton

Selain *fly ash* yang bersifat *pozzolan*, jika dicampur kapur (CaO) dan air akan bereaksi membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang dapat meningkatkan kedekatan beton, sehingga daya serapnya relatif kecil. Proses hidrasi semen inilah yang mengakibatkan senyawa saling terikat sehingga memperkecil terbentuknya rongga dan serapan airnya kecil atau kedap. Hal ini senada dengan jurnal penelitian yang pernah dilakukan oleh Fatimah, et al. (2018) dimana *fly ash* sebagai *filler* yang berfungsi mengisi rongga-rongga kapiler pada beton bereaksi dengan kapur membentuk kalsium silikat hidrat yang menye-

babkan beton akan lebih padat, lebih kuat serta lebih kedap.

Dalam jurnal penelitian Aummah (2017) juga mengungkapkan bahwa semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan, maka nilai penyerapannya akan semakin kecil. Di samping itu, pada penelitian ini beton dapat dikatakan kedap air karena memenuhi ketentuan minimum beton kedap air menurut SNI 03-2914-1992 yaitu ketika direndam dengan air normal selama 24 jam, serapan maksimumnya 6,5% terhadap berat beton kering oven. Dalam penelitian ini beton yang paling kedap air adalah beton dengan kandungan 30% *fly ash*+CaO sebesar 2,018%.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian tentang analisis pengaruh penggunaan variasi *fly ash* terhadap karakteristik beton dengan penambahan kapur tohor ditinjau dari kemampuan beton segar, perkembangan kuat tekan, dan daya serap air beton, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemakaian kombinasi variasi *fly ash* dan kapur tohor menyebabkan terjadinya waktu ikatan awal lebih lama dibandingkan waktu ikatan awal semen tanpa *fly ash* dan kapur tohor, namun lebih cepat dibandingkan waktu ikat awal semen dengan campuran *fly ash* tanpa kapur tohor seperti pada penelitian sebelumnya.
2. Pemakaian kombinasi variasi *fly ash* dan bahan tambah kapur tohor terhadap sifat beton segar mampu mempertahankan *workability* pada interval yang diacu dengan nilai *slump* yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan beton normal tanpa campuran *fly ash* dan kapur tohor.
3. Pemakaian kombinasi variasi *fly ash* dan bahan tambah kapur tohor memiliki perkembangan kuat tekan beton yang baik dan terus menunjukkan peningkatan seiring dengan lamanya umur beton sampai 28 hari, terutama pada beton dengan 30% *fly ash*+CaO kuat tekannya yang paling tinggi, meskipun peningkatan kuat tekan yang terjadi tidak terlalu ekstrim.
4. Pemakaian kombinasi variasi *fly ash* dan bahan tambah kapur tohor serapan airnya semakin kecil dibandingkan beton normal, dimana beton dengan 30% *fly ash* dan penambahan kapur tohor 5% daya serap airnya yang paling rendah dan yang paling kedap air.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211, 2008. *Guide for selecting proportions for High-Strength concrete using Portland cement and other.* American Concrete Institute.
- Aummah, J., 2017. Pengaruh Penambahan Kapur dengan Bahan Dasar Fly Ash untuk Pembuatan Paving Stone Geopolymer terhadap Nilai Kuat Tekan dan Permeabilitas (Penyerapan). *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), pp. 402-411.
- Badan Standardisasi Nasional, 1992. SNI 03-2914-1992. *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 1996. SNI 03-4147-1996. *Spesifikasi Kapur untuk Stabilisasi Tanah.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2000. SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2000. SNI 03-6433-2000. *Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga dalam Beton yang telah Mengeras.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. SNI 15-2049-2004. *Semen portland.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2008. SNI 1972:2008. *Cara uji slump beton.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 1974:2011. *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.* Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Carette, G., Chevrier, A. B. R. L. & Malhotra, V. M., 1993. Mechanical properties of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the US. *Materials Journal*, 90(6), pp. 535-544.
- Choiri, N., 2013. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Beton. *BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 1(1), pp. 41-51.
- Cruz, J. d. & Supriatna, Y., 2020. Analisis Kuat Tekan Baton K175 dengan Campuran Serbuk Kapur dan Serbuk Batu Bata untuk Penghematan Semen sebagai Bahan Pengikat Dasar. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, April.1(1).

- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- Fatimah, I. N., Budi, A. S. & Sangadji, S., 2018. *Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan pada High Volume Fly Ash-Selfcompacting Concrete (HVFA-SCC) Benda Uji D 15 cm x 30 cm Usia 28 Hari*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hanafi, D. B. R., 2014. *Self Healing Capability Beton dengan Persentase Fly Ash 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 45% dan 55% sebagai Pengganti Sebagian Semen Ditinjau dari Workability, Kuat Tekan dan Permeabilitas*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hussein, A. A. E., Shafiq, N. & Nuruddin, M. F., 2013. A Comprehensive Experimental Study on the Performance of Fly Ash Concrete. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2(6).
- Lili, S., 2015. *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Fly Ash terhadap Kuat Tekan, Berat Jenis, dan Daya Serap Air pada Beton Ringan Foam*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Longarini, N. et al., 2014. The Advantages of Fly Ash Use in Concrete Structures. *Polish Mineral Engineering Society*.
- Luan, T. F., 2019. *Pengaruh Pemakaian Fly Ash sebagai Cementitious pada Beton Mutu Tinggi terhadap Kuat Tekan Beton Umur 28-91 Hari*, Malang: e-journal Penelitian Beton.
- Malhotra, V. M., 2002. Introduction: Sustainable Development and Concrete Technology. *Concrete International*, July, 24(7), p. 22.
- Nath, P. & Sarker, P. K., 2012. *Geopolymer Concrete for Ambient Curing Condition*, Australia: Curtin University.
- Priyanto, B., 2013. Study on The Use of Portland Cement, Calcium Oxide, Red Cement, Sand Beach and The Strong Urges Concrete (Case Study Krakalbeach). *International Conference of Infrastructure Development*, 1-3 November, pp. 233-238.
- Rosidawani, Hanafiah, Aminuddin, K. M. & Said, B. F., 2020. Pengaruh W/B dan Fly Ash terhadap Karakteristik Fisik dan Mekanik Aerated Concrete. *Seminar Nasional AVoER XII 2020*, 18-19 November, pp. 272-279.
- Usman, 2018. "Potensi Limbah Abu Terbang (Fly Ash) Batubara sebagai Bahan Substitusi dan Bahan Pengisi (Filler) pada Pembuatan Beton", Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Wang, X.-Y. & Luan, Y., 2018. Modeling of Hydration, Strength Development, and Optimum Combinations of Cement-Slag-Limestone Ternary Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*.
- Wibowo, H., 2012. *Pemanfaatan Debu Terbang (Fly Ash) Limbah Batubara dalam Pembuatan Bata Ringan dengan Menggunakan Matriks Bubuk Aluminium*, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Yusuf, Y., Savitri, V. F. & Aziz, H., 2020. Pengaruh Penggunaan Fly Ash dari Berbagai Sumber terhadap Sifat Kimia dan Sifat Fisika pada Semen Tipe I (OPC). *Jurnal Riset Kimia*, July.