

KAJIAN SERAPAN CO₂ PADA BETON MUTU TINGGI MEMADAT MANDIRI DENGAN BAHAN TAMBAH METAKAOLIN MENGGUNAKAN VARIASI AKTIVATOR NaOH DAN Na₂SiO₃

Wibowo¹⁾, Halwan Alfisa Saifullah²⁾, Nabela Nurwikaningtyas³⁾

^{1,2)} Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta 57126; Telp. (0271) 634524, Fax 662118

Email: nabelanurwikaningtyas@student.uns.ac.id

Abstract

Concrete innovation is carried out in order to create good construction quality. The ability of concrete to absorb CO₂ is an important factor affecting the durability of concrete. The number of pores in concrete affects the durability of concrete. The increasing number of pores in concrete increases permeability and absorption, resulting in decreased compressive strength and durability. This study was conducted to determine the effect of the variation of the ratio of Na₂SiO₃/NaOH activator of 0; 1/2; 2/2; and 3/2 to the CO₂ absorption value of High Strength Self Compacting Concrete with substitution of 17,5% metakaolin. The value of CO₂ absorption can represent the porosity of concrete. In this study, concrete cylindrical specimens with a diameter of 75 mm and a height of 150 mm were prepared and tested. The test was performed in accordance with SNI 03-6468-2000, EFNARC 2005, and SNI 03-2914-1992. The CO₂ absorption test was carried out by immersing the 28-day-old specimens for 10+0.5 minutes and 24 hours in a 4% carbonate solution and then comparing the oven-dry weight with the SSD weight. This study indicates that an alkali activator can improve the quality of concrete by reducing the value of CO₂ absorption. Concrete with Na₂SiO₃/NaOH ratio of 2/2 has the lowest CO₂ absorption value with a decrease of 41,22% at an immersion time of 10+0,5 minutes and 20% at an immersion time of 24 hours against normal concrete.

Keywords: Absorption, alkali activator, High Strength Self Compacting Concrete

Abstrak

Inovasi beton dilakukan guna menciptakan kualitas konstruksi yang baik. Jumlah pori pada beton mempengaruhi durabilitas beton. Jumlah pori yang semakin banyak pada beton menyebabkan permeabilitas dan serapan meningkat sehingga menyebabkan kuat tekan dan durabilitas menurun. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan aktivator Na₂SiO₃/NaOH sebesar 0; 1/2; 2/2; dan 3/2 terhadap nilai serapan CO₂ beton mutu tinggi memadat mandiri dengan substitusi metakaolin 17,5%. Nilai serapan CO₂ dapat merepresentasikan porositas beton. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental. Benda uji yang digunakan berbentuk tabung dengan diameter 75 mm dan tinggi 150 mm. Pengujian ini berpedoman pada SNI 03-6468-2000, EFNARC 2005, dan SNI 03-2914-1992. Pengujian serapan CO₂ dilakukan dengan merendam benda uji berumur 28 hari selama 10+0,5 menit dan 24 jam pada larutan karbonat 4% kemudian membandingkan berat kering oven dengan berat SSD-nya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivator alkali yang digunakan dapat menghambat laju serapan CO₂. Beton dengan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2/2 memiliki nilai serapan CO₂ paling rendah dengan penurunan sebesar 41,22% pada waktu perendaman 10+0,5 menit dan 20% pada waktu perendaman 24 jam terhadap beton normal.

Kata kunci: Aktivator alkali, beton mutu tinggi memadat mandiri, serapan

PENDAHULUAN

Infrastruktur merupakan sektor yang sangat penting untuk meningkatkan konektivitas dan merangsang pertumbuhan ekonomi Indonesia. Oleh karena itu, perkembangan pada bidang konstruksi perlu dilakukan. Peran beton sebagai material utama dalam bidang konstruksi memberi tuntutan pada industri beton di Indonesia untuk selalu berkembang guna menciptakan kualitas konstruksi yang baik. *High Strength Self Compacting Concrete* adalah salah satu jawaban untuk meningkatkan kualitas beton konvensional. Beton memadat mandiri mempunyai *flowability* yang tinggi sehingga mudah dikerjakan tanpa menggunakan alat getar sedangkan beton mutu tinggi memiliki *durability* dan *workability* yang tinggi dibandingkan dengan beton konvensional.

Salah satu faktor yang dapat menurunkan durabilitas beton adalah porositas beton yang dapat diketahui dari kemampuan beton dalam menyerap CO₂. Hal ini menyebabkan pH pada pasta semen menurun dan merusak selimut beton sehingga tulangan baja terekspos dan terjadi korosi. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan dengan mensubstitusikan metakaolin dan menambahkan aktivator alkali NaOH dan Na₂SiO₃ untuk meningkatkan

durabilitas beton. Metakaolin berpengaruh pada pengisian pori-pori beton sehingga porositas beton dapat berkurang. Selain itu, metakaolin mengurangi permeabilitas beton dengan mempercepat hidrasi semen (Asadollahfardi *et al.*, 2019). Peran NaOH yaitu sebagai pemicu reaksi unsur aluminium dan silika yang terdapat pada metakaolin sehingga dapat terbentuk ikatan antar agregat yang kuat, sedangkan Na_2SiO_3 memiliki peran untuk meningkatkan laju polimerisasi campuran beton.

LANDASAN TEORI

Mengacu pada SNI 2847:2019, beton yaitu material yang terbuat dari pasir, kerikil, semen, serta air, dengan atau tanpa *admixture*. Material penyusun beton dicampur hingga homogen dengan komposisi yang telah direncanakan. Campuran penyusun beton akan mengeras seiring bertambahnya umur beton.

Mengacu pada SNI 03-6468-2000, beton dengan kuat tekan $\geq 41,4$ MPa dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi, untuk mencapai kuat tekan yang sesuai dengan syarat yang berlaku penambahan zat aditif.

Berdasarkan EFNARC 2005, beton memadat mandiri yaitu jenis beton yang dapat mengalir dan memadat sendiri dalam memenuhi volume bekisting tanpa menggunakan alat penggetar. Beton segar dapat dikategorikan sebagai beton memadat mandiri jika mampu dengan mudah mengisi celah-celah di antara tulangan (*filling ability*), memiliki kemampuan lolos (*passing ability*), dan tidak mudah segregasi (*segregation resistance*) (Amalia, 2019).

Pada penelitian ini, parameter pengujian beton segar yang dilakukan meliputi pengujian *slump flow* untuk menguji *filling ability* beton, pengujian *L-box* untuk menguji *passing ability* beton, dan pengujian *V-funnel* untuk menguji *segregation resistance* beton. Standar penelitian pengujian beton segar untuk *Self Compacting Concrete* berdasarkan EFNARC 2005 tercantum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai *Self Compacting Concrete* Berdasarkan EFNARC 2005

Metode	Satuan	Range Nilai	
		Minimum	Maksimum
<i>Slump flow</i> dengan <i>Abrams cone</i>	mm	650	800
T50 cm <i>Slump flow</i>	detik	2	5
<i>V-funnel</i>	detik	6	12
<i>L-box</i>	-	0,8	1

Pozzolan yang digunakan untuk substitusi semen pada penelitian ini adalah metakaolin. Metakaolin dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena mengandung senyawa utama semen yaitu SiO_2 dan Al_2O_3 dalam jumlah banyak (Sambowo, 2002). Metakaolin berpengaruh pada pengisian pori-pori beton sehingga porositas beton dapat berkurang. Selain itu, metakaolin mengurangi permeabilitas beton dengan mempercepat hidrasi semen (Asadollahfardi *et al.*, 2019).

Aktivator merupakan zat pemicu zat lain untuk bereaksi. Penelitian ini menggunakan aktivator alkali NaOH dan Na_2SiO_3 . Peran NaOH sebagai aktivator yaitu memicu reaksi unsur aluminium dan silika yang dimiliki metakaolin dan membuat ikatan antar agregat menjadi lebih solid, sedangkan Na_2SiO_3 mempunyai peran untuk meningkatkan laju polimerisasi campuran beton.

Subekti (2012) dalam penelitiannya melakukan penelitian terhadap porositas beton pada umur 56 hari. Beton yang digunakan memiliki variasi rasio massa *fly ash* Paiton dan limbah Tjiwi Kimia sebesar 0:100; 20:80; 40:60; 60:40; 80:20; 100:0 dengan ragam larutan NaOH 10 M dan 14 M. Rasio massa larutan Na_2SiO_3 dengan NaOH sebesar 1:2 dan 3:2. Dalam penelitian tersebut didapatkan porositas terendah pada angka 2,44 pada variasi beton dengan molaritas NaOH 14 M, perbandingan massa larutan Na_2SiO_3 dengan NaOH sebesar 3:2 dengan rasio massa *fly ash* Paiton dan Tjiwi Kimia 60:40.

Ekaputri dan Triwulan (2013) dalam penelitiannya melakukan substitusi *fly ash*, Lusi (Lumpur Sidoarjo), dan *trass* menggunakan variasi molaritas NaOH yaitu 8 M, 10 M, 12 M dan 14 M. Rasio massa Na_2SiO_3 terhadap massa larutan NaOH yang digunakan adalah 1/2; 2/2; 3/2; 4/2; dan 5/2. Pada penelitian ini, benda uji dengan molaritas NaOH 14 M memiliki kuat tekan tertinggi.

Daya serap karbondioksida (CO₂) adalah kemampuan beton untuk menyerap karbondioksida yang terlarut dalam air dan kemudian masuk ke dalam pori-pori beton. Daya serap beton dapat diketahui dengan menghitung nilai serapan yang dinyatakan pada Persamaan 1.

$$Serapan_{CO_2} = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

dengan :

W = Massa beton pada kondisi SSD

W_k = Massa beton pada kondisi kering oven

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Penelitian dilakukan dengan melakukan substitusi metakaolin 17,5% dari berat semen. Larutan NaOH yang digunakan yaitu 10 M dengan variasi perbandingan massa Na₂SiO₃ dan NaOH sebesar 0; 1/2; 2/2; dan 3/2. Benda uji yang dipakai berbentuk tabung yang memiliki tinggi 15 cm dan diameter 7,5 cm berjumlah 12 buah.

Pengujian bahan dasar penyusun beton mencakup pengujian terhadap agregat dan metakaolin. Pengujian terhadap agregat halus terdiri dari pengujian gradasi, pengujian kandungan lumpur, pengujian kadar zat organik, dan pengujian *specific gravity*. Sedangkan pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian abrasi, pengujian gradasi, dan pengujian *specific gravity*. Pengujian kandungan metakaolin dilakukan menggunakan alat X-ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui kandungan kimia metakaolin yang digunakan pada penelitian.

Pembuatan larutan NaOH 10 M dilakukan dengan cara menghitung massa NaOH yang dibutuhkan menggunakan Persamaan 2, kemudian larutan NaOH 10 M dicampur dengan gel Na₂SiO₃ sesuai dengan perbandingan massa yang diinginkan.

$$Massa\ NaOH = n_{mol} \times Mr \dots\dots\dots [2]$$

Dengan

n = jumlah mol yang diinginkan

Mr = massa molekul reaktif

Rancang campur beton pada penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancang Campur Beton

Kode Benda Uji	Binder		Agregat		Superplasticizer	Air	Alkali Aktivator	
	Semen	Metakaolin	Halus	Kasar			Na ₂ SiO ₃	NaOH
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)			(kg/m ³)	(kg/m ³)
HSSCC-MK AA-0	495	105	878,36	729,59	9,00	186	0	0
HSSCC-MK AA-1/2	465	105	848,75	704,99	9,00	186	10	20
HSSCC-MK AA-2/2	465	105	848,75	704,99	9,00	186	15	15
HSSCC-MK AA-3/2	465	105	848,75	704,99	9,00	186	18	12

Pengujian beton segar berpedoman pada EFNARC 2005, meliputi pengujian *filling ability* beton dengan *slump flow test*, pengujian *passing ability* beton dengan *L-box test*, dan pengujian *segregation resistance* beton dengan *V-funnel test*.

Kajian serapan CO₂ dilakukan untuk memeriksa porositas beton. Pengujian ini dilakukan dengan merendam benda uji saat umur 28 hari pada larutan karbonat 4% pada durasi 10 + 0,5 menit dan 24 jam. Benda uji kemudian dikeringkan untuk mencapai kondisi. Presentase serapan CO₂ dapat dihitung dengan persamaan 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian bahan penyusun beton dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh material yang sesuai persyaratan pada *American Standard Testing Method* dan Standar Nasional Indonesia. Metakaolin yang digunakan sebagai substitusi semen memiliki kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 masing-masing sebesar 65,89% dan 15,53%. Hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Absorption</i>	2,94%	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,63	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,44	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,51	2,5 - 2,7 ASTM C.128-79	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	3,20%	< 5% ASTM C.117	Memenuhi Syarat
Kandungan Zat Organik	Kuning Kemerahan	Kuning Kemerahan ASTM C.40	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan	2,68	2,3 - 3,1 ASTM C.33-97	Memenuhi Syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Abrasi	35,50%	< 50% ASTM C.131	Memenuhi Syarat
<i>Absorption</i>	1,32	-	-
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,67	-	-
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,58	-	-
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,62	2,5 - 3,7 ASTM C.128	Memenuhi Syarat
Modulus Kehalusan	7,67	5,0 - 8,0 ASTM C.136	Memenuhi Syarat

Hasil pengujian *flow table* meliputi pengujian diameter sebaran yang dicapai oleh beton segar (d) dan pengujian waktu yang diperlukan untuk sebaran beton segar mencapai diameter 500 mm. Hasil pengujian *flow table* tercantum pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Flow Table*

Nama Benda Uji	$D_{\text{rata-rata}}$ (mm)	$T_{500\text{rata-rata}}$ (detik)	Syarat	Kesimpulan
HSSCC-MK-AA-0	745,00	2,31		Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-1/2	725,00	2,92	650-850 mm	Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-2/2	705,00	3,52	EFNARC 2005	Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-3/2	680,00	4,46		Memenuhi Syarat

Parameter *filling ability* pada pengujian beton segar memadat mandiri selanjutnya dapat diuji melalui pengujian *V-funnel*. Berdasarkan standar EFNARC 2005, waktu yang diperlukan pada pengujian *V-funnel* adalah beton segar mampu mengalir dalam waktu antara 6 sampai 12 detik. Hasil pengujian tersebut tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian *V-funnel*

Nama Benda Uji	<i>V-funnel</i> (detik)	Syarat	Kesimpulan
HSSCC-MK-AA-0	6,87		Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-1/2	9,39	6-12 detik	Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-2/2	13,57	EFNARC 2005	Tidak Memenuhi Syarat
HSSCC-MK-AA-3/2	17,46		Tidak Memenuhi Syarat

Parameter *passing ability* pada pengujian beton memadat mandiri dapat diuji melalui pengujian *L-box*. Perbandingan h_2/h_1 yang distandarkan oleh EFNARC 2005 adalah sebesar 0,8 hingga 1. Hasil pengujian tersebut tercantum pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian *L-box*

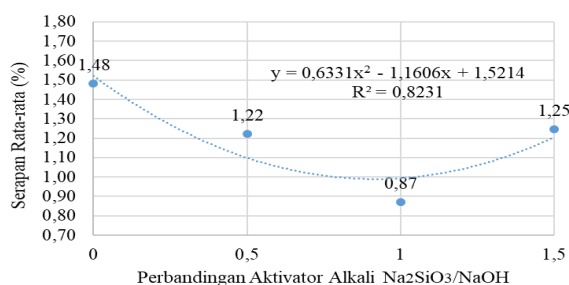
Nama Benda Uji	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2/h_1	Syarat	Kesimpulan
HSSCC-MK-AA-0	8,90	9,30	0,96		Memenuhi syarat
HSSCC-MK-AA-1/2	8,40	9,30	0,90	0,8-1	Memenuhi syarat
HSSCC-MK-AA-2/2	7,90	9,70	0,81	EFNARC 2005	Memenuhi syarat
HSSCC-MK-AA-3/2	7,10	10,20	0,57		Tidak memenuhi syarat

Pengujian serapan CO_2 mengacu pada SNI 03-2914-1992 dimana nilai serapan pada beton maksimum adalah 2,5% dari berat keringnya untuk durasi 10 + 0,5 menit dan 6,5% dari berat keringnya untuk durasi 24 jam. Hasil pengujian serapan CO_2 pada HSSCC pada durasi 10 + 0,5 menit dan 24 jam disajikan pada Tabel 8.

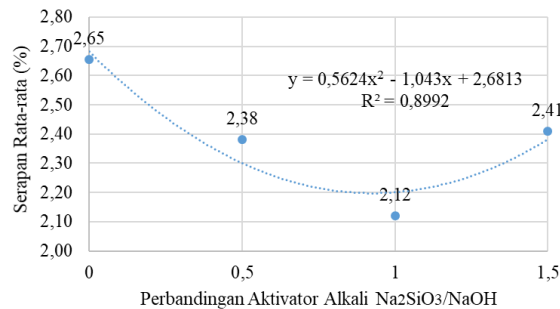
Tabel 8. Serapan Rata-Rata pada Durasi Perendaman 10+0,5 Menit dan 24 Jam

Nama Benda Uji	Waktu Peredaman 10+0,5 Menit	Syarat Peredaman 10+0,5 Menit	Waktu Peredaman 24 Jam	Syarat Peredaman 24 Jam	Kesimpulan
HSSCC-S-MK-AA-00	1,48		2,65	$\leq 6,5\%$ berat kering oven	Memenuhi syarat
HSSCC-S-MK-AA-1/2	1,22	$\leq 2,5\%$ berat kering oven	2,38	SNI 03-2914-1992	Memenuhi syarat
HSSCC-S-MK-AA-2/2	0,87		2,12		Memenuhi syarat
HSSCC-S-MK-AA-3/2	1,25		2,41		Memenuhi syarat

Tabel 8 di atas menunjukkan semua nilai serapan larutan CO_2 4% memenuhi standar serapan CO_2 pada beton oleh SNI 03-2914-1992. Data yang didapatkan pada penelitian ini disajikan dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Grafik hubungan nilai serapan CO_2 dengan perbandingan aktivator alkali $Na_2SiO_3/NaOH$ pada perendaman 10+0,5 Menit



Gambar 2. Grafik hubungan nilai serapan CO₂ dengan perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH pada perendaman 24 jam

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa aktivator alkali Na₂SiO₃ dan NaOH akan menurunkan serapan beton pada perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH tertentu. Pada beton normal tanpa substitusi aktivator alkali diperoleh nilai serapan larutan CO₂ pada durasi 10+0,5 menit dan 24 jam berturut-turut adalah 1,48% dan 2,65% dari berat kering oven. Pada perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 1/2 diperoleh nilai serapan larutan CO₂ pada perendaman 10+0,5 menit adalah 1,22% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam adalah 2,38% dari berat kering oven. Pada perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2/2 diperoleh nilai serapan larutan CO₂ pada perendaman 10+0,5 menit adalah 0,87% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam adalah 2,12% dari berat kering oven. Pada perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 3/2 diperoleh nilai serapan larutan CO₂ pada perendaman 10+0,5 menit adalah 1,25% dari berat kering oven dan pada perendaman 24 jam adalah 2,41% dari berat kering oven.

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan data yang telah diperoleh pada penelitian ini yaitu nilai serapan terendah adalah beton dengan perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2/2. Penambahan aktivator alkali Na₂SiO₃ dan NaOH dapat menurunkan serapan beton hingga 41,22% pada perendaman selama 10+0,5 menit dan menurunkan serapan beton hingga 20% pada perendaman selama 24 jam.

Penambahan aktivator alkali membantu menurunkan laju serapan CO₂ pada beton hingga mencapai kadar optimumnya yaitu pada perbandingan Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2/2. Peran NaOH sebagai aktivator yaitu membantu proses reaksi unsur-unsur Al dan Si pada metakaolin sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Na₂SiO₃ berperan sebagai katalisator yang mempercepat reaksi NaOH dengan metakaolin. Unsur utama metakaolin yaitu SiO₂ dan Al₂O₃ akan bereaksi dengan Ca(OH)₂ yang merupakan hasil dari reaksi hidrasi semen membentuk kalsium silika hidrat (CSH) yang dapat memperkuat ikatan antar agregat beton. Peran aktivator alkali dalam reaksi pozzolanik metakaolin turut membantu beton memiliki durabilitas lebih baik. Penambahan aktivator alkali dengan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH sebesar 3/2 memiliki peningkatan laju serapan CO₂ karena jumlah Na₂SiO₃ lebih besar daripada NaOH sehingga menyebabkan aktivator alkali menjadi sangat kental dan menghambat reaksi polimerisasi beton.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian serapan CO₂ pada *High Strength Self-Compacting Concrete* dengan *pozzolan* metakaolin menggunakan variasi perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Aktivator alkali berpengaruh terhadap penurunan *workability* campuran beton. Hal ini ditunjukkan oleh pengujian pengujian *slump flow*, *V-funnel*, dan *L-box* dengan hasil yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH.
2. Penambahan aktivator alkali pada *High Strength Self Compacting Concrete* dengan bahan tambah metakaolin dapat menurunkan nilai serapan CO₂. Perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 2/2 menghasilkan nilai serapan CO₂ terendah dengan penurunan mencapai 41,22% pada perendaman selama 10+0,5 menit dan 20% pada perendaman selama 24 jam dari nilai serapan CO₂ beton tanpa aktivator alkali.
3. Nilai serapan CO₂ pada beton dengan bahan tambah metakaolin 17,5% dari berat semen dan variasi perbandingan aktivator alkali Na₂SiO₃/NaOH sebesar 0; 1/2; 2/2; dan 3/2 memenuhi syarat SNI 03-2914-1992 dengan berat kering oven tidak melebihi 2,5 % pada durasi 10+0,5 menit dan 6,5% pada durasi 24 jam.

REFERENSI

- Amalia, Muhtarom Riyadi, 2019, “Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor”, *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol.25 No. 1, pp. 59-68
- Asadollahfardi, G., MohsenZadeh, P., Saghravani, S. F., 2019, “The Effects of Using Metakaolin and Micro-nanobubble Water On Concrete Properties”, *Journal of Building Engineering* Vol. 25, Septemer 2019.
- EFNARC, 2005, “Specification and Guidelines For Self Compacting Concrete”.
- Ekaputri dan Triwulan, 2013, “Sodium Sebagai Aktivator *Fly Ash*, Trass, dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer”, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 20, No.1 April 2013, pp. 1-10.
- Sambowo, Kusno Adi, 2002, “Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin-PFA Concrete”, The University of Sheffield. United Kingdom.
- Standar Nasional Indonesia, 1992, “(SNI)-03-2914: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air”,
- Standar Nasional Indonesia, 2000, “(SNI) 03-6468: Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang”.
- Standar Nasional Indonesia, 2019, “(SNI) 2847: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”.
- Subekti, Sri, 2012, “Porositas Binder Geopolimer dengan Proporsi Campuran Fly Ash Paiton dan Limbah Tjiwi Kimia Menggunakan Aktivator NaOH”, *Jurnal Teknik Sipil KERN*, Vol. 2 No. 1 Mei 2019, pp. 43-52.