

KAJIAN KUAT DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN BAHAN TAMBAH ACCELERATOR MENGGUNAKAN ANALISIS MIKROSTRUKTUR

Wibowo¹⁾, Endah Safitri²⁾, Frezha Nur Septian³⁾

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

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

Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta 57126; Telp 0271-634524.

Email: frezhans@gmail.com

Abstract

Buildings with the concept of shared use require a main structure that are strong and durable. One important factor is the use of concrete that has good strength and quality. Innovations need to be developed to find concrete that are not only strong and durable but also easy to process and fast in process of setting and hardening. One of the concrete innovations is High Strength Concrete (HSC) using added admixtures of accelerators. Accelerator is useful for accelerating the setting process and increasing the compressive strength of concrete at an early age. This study aims to examine compressive strength and modulus of elasticity of high strength concrete with accelerator addition with level used is 2% of the weight of cement using microstructure analysis at 7, 14, 21, and 28 days. The research starting from aggregate testing, compressive strength testing, modulus of elasticity testing and microstructure testing. Compressive strength testing was carried out using Universal Testing Machine (UTM). Microstructure testing was carried out by surface area analysis (SAA) method. The test object used is cylindrical with a diameter of 7.5 cm and a height of 15 cm. The percentage of the increase in the compressive strength average in concrete with accelerator addition compared to concrete without any addition at 7, 14, 21 and 28 days are 26.08%; 21.71%; 17.49% and 28.49%. The percentage of the increase in the modulus elasticity value at 7, 14, 21 and 28 days are 8.97%; 7.63%; 6.31% and 10.13%. The percentage decrease in pore volume values at 7, 14, 21 and 28 days were respectively 17.24%; 17.86%; 12.50% and 22.73%.

Keywords: *accelerator, high strength concrete, microstructure, modulus elasticity, surface area analysis.*

Abstrak

Bangunan dengan konsep penggunaan bersama memerlukan struktur yang kuat dan tahan lama. Salah satu faktor pentingnya adalah penggunaan beton yang memiliki kekuatan dan kualitas baik. Perlu dikembangkan inovasi beton yang bukan hanya kuat dan tahan lama namun juga mudah pengerjaannya dan cepat dalam proses pengeringan dan pengerasan. Salah satu inovasinya adalah beton mutu tinggi (*High Strength Concrete - HSC*) menggunakan bahan tambah *accelerator*. *Accelerator* berfungsi mempercepat pengikatan dan meningkatkan kuat tekan pada umur awal. Penelitian ini mengkaji kuat desak dan modulus elastisitas beton mutu tinggi dengan bahan tambah *accelerator* dengan kadar 2% dari berat semen menggunakan analisis mikrostruktur pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Penelitian dilakukan mulai dari pengujian agregat, kuat desak, modulus elastisitas dan mikrostruktur. Pengujian kuat desak menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*. Pengujian mikrostruktur menggunakan metode *Surface Area Analysis (SAA)*. Benda uji berbentuk silinder diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Persentase kenaikan kuat desak rata-rata beton dengan bahan tambah *accelerator* terhadap beton tanpa bahan tambah pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari adalah 26,08%; 21,71%; 17,49% dan 28,49%. Persentase peningkatan nilai modulus elastisitas pada umur 7, 14, 21 dan 28 adalah 8,97%; 7,63%; 6,31% dan 10,13%. Persentase penurunan nilai volume pori pada umur 7, 14, 21 dan 28 adalah 17,24%; 17,86%; 12,50% dan 22,73%.

Kata Kunci : *accelerator, beton mutu tinggi, mikrostruktur, modulus elastisitas, surface area analysis.*

PENDAHULUAN

Dunia konstruksi di Indonesia terus mengalami perkembangan seiring dengan tingginya permintaan akan infrastruktur. Sementara itu, desain-desain bangunan tinggi dengan konsep penggunaan bersama semakin ramai diminati oleh para investor. Bangunan tinggi harus memiliki struktur yang kokoh, kuat dan tahan lama. Faktor penting yang harus diperhatikan adalah penggunaan beton yang mempunyai kekuatan dan kualitas yang baik. Kekuatan beton dinyatakan dalam nilai MPa yang disebut dengan nilai kuat desak. Semakin tinggi nilai MPa yang dihasilkan maka semakin tinggi juga kekuatan dari beton tersebut. Beton dengan nilai kuat desak tinggi disebut

beton mutu tinggi atau *high strength concrete* (HSC). Syarat beton mutu tinggi adalah memiliki kuat desak lebih tinggi atau sama dengan 41,4 MPa.

Dewasa ini banyak penelitian tentang penggunaan bahan tambah (*admixtures*) sebagai penambah material utama dalam pembuatan beton mutu tinggi. Ada dua jenis bahan tambah (*admixtures*) yang sering digunakan yaitu, bahan tambah mineral (*mineral admixtures*) dan bahan tambah kimia (*chemical admixtures*). Pada penelitian ini penulis menggunakan bahan *accelerator* sebagai bahan tambah kimia (*chemical admixtures*) dalam pembuatan campuran beton mutu tinggi. *Accelerator* sering digunakan untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton demi mendapatkan kekuatan awal beton yang tinggi. Biasanya digunakan untuk pengerjaan jalan, dan digunakan juga untuk pengerjaan struktur yang memerlukan pengerasan segera seperti pekerjaan *slab* dan *basement*. Penggunaan *accelerator* juga dapat mengurangi penggunaan air sampai 15% serta mengurangi keropos pada beton. Selain itu, digunakan juga *superplasticizer* untuk meningkatkan *workability* beton.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan mikrostruktur antara beton normal terhadap beton inovasi dengan penambahan *accelerator* dengan metode *Surface Area Analysis* (SAA). *Surface Area Analysis* (SAA) merupakan metode pengujian untuk mengukur luas permukaan, porositas dan properti *isotherm* dari pertambahan massa dari adsorpsi suatu gas pada suatu bahan. Hasil dari penelitian ini adalah analisis kuat desak dan modulus elastisitas beton mutu tinggi dengan bahan tambah *accelerator* menggunakan analisis mikrostruktur.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture* atau *additive*) (SNI 2847-2013). Seiring dengan pertambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan (f_c) puncak pada usia 28 hari.

Beton mutu tinggi atau *high strength concrete* (HSC) adalah beton yang memiliki kuat desak yang disyaratkan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa (SNI 03-6468-2000). Beton mutu tinggi dengan nilai kuat desak 55 – 70 MPa telah dapat diproduksi oleh produsen *ready-mix*, sedangkan beton dengan nilai kuat desak hingga 100 MPa atau lebih dapat diproduksi di laboratorium.

Accelerator merupakan bahan tambah (*admixture*) yang masuk dalam tipe C (*Accelerating Admixtures*) menurut ASTM C 494. Keuntungan menggunakan bahan *accelerator* antara lain: mempercepat waktu *setting*, mengurangi penyusutan, memiliki adhesi yang baik, dan memiliki kekuatan awal serta kuat desak yang tinggi (PT. Sika Indonesia, 2017). Penambahan *accelerator* dapat membantu untuk memperoleh kuat desak yang tinggi dengan cepat. Hal ini dikarenakan $CaCl_2$ (kalsium klorida) yang terdapat dalam *accelerator* dapat mempercepat hidrasi dari C_2S dan C_3S yang merupakan senyawa dalam beton yang memiliki sifat perekat (Nugraha, 2007).

Kuat desak beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya desak tertentu, yang dihasilkan oleh mesin desak (SNI 1974-2011). Nilai kuat desak beton dapat dihitung dengan Persamaan [1].

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Dimana:

- f'_c = Kuat desak beton (MPa)
- P = Gaya desak (N)
- A = Luas penampang benda uji (mm²)

Modulus elastisitas adalah perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari desakan yang diberikan (Murdock dan Brook, 1999). Pengujian modulus elastisitas bertujuan mengetahui sifat elastis suatu bahan yang berkaitan erat dengan pengujian kuat desak. Untuk menghitung modulus elastisitas ada beberapa persamaan yang digunakan, diantaranya:

1. ASTM C469

$$E_c = \frac{0,4f'_c - \sigma_1}{\epsilon_{0,4f'_c} - \epsilon_1} \dots\dots\dots [2]$$

2. Eurocode 2-1992

$$E_c = \frac{0,4 f'c}{\epsilon_{0,4 f'c}} \dots\dots\dots [3]$$

3. ACI Committee 363-10

$$E_c = 3320\sqrt{f'c} + 6900 \dots\dots\dots [4]$$

4. SNI 2847-2013

$$E_c = 0,043w_c^{1,5} \sqrt{f'c} \text{ untuk } 1500 < w_c < 2500 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots [5]$$

Dimana:

- E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)
- $f'c$ = Kuat desak beton (MPa)
- ϵ_1 = Regangan aksial saat 0,00005 (mm/mm)
- σ_1 = Tegangan yang berhubungan dengan ϵ_1
- $\epsilon_{0,4 f'c}$ = Regangan aksial saat 0,4 $f'c$
- w_c = Berat volume beton (kg/m³)

Mikrostruktur beton dapat dianalisis melalui pengujian *Surface Area Analysis* (SAA) yang bertujuan untuk mencari nilai luas permukaan, volume pori dan radius pori suatu material. Nilai volume pori ini berkaitan dengan tingkat porositas beton dan kepadatan beton.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian kuat desak beton, pengujian modulus elastisitas dan pengujian *surface area analysis* (SAA). Pengujian dilakukan pada umur beton ke-7, 14, 21 dan 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Parameter yang harus diperhatikan dalam penelitian ini adalah nilai kuat desak rencana harus lebih dari 41,4 MPa (syarat minimal beton mutu tinggi) dan kadar penggunaan bahan tambah *accelerator* adalah sebesar 2% dari berat semen. Kode dan jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode dan Jumlah Benda Uji

No.	Umur Beton (Hari)	Kode Benda Uji dengan <i>Accelerator</i>	Jumlah Benda Uji	Kode Benda Uji Tanpa <i>Accelerator</i>	Jumlah Benda Uji
1	7	B _{HSC AC} 7-A	3	B _{HSC N} 7-A	3
		B _{HSC AC} 7-B		B _{HSC N} 7-B	
		B _{HSC AC} 7-C		B _{HSC N} 7-C	
2	14	B _{HSC AC} 14-A	3	B _{HSC N} 14-A	3
		B _{HSC AC} 14-B		B _{HSC N} 14-B	
		B _{HSC AC} 14-C		B _{HSC N} 14-C	
3	21	B _{HSC AC} 21-A	3	B _{HSC N} 21-A	3
		B _{HSC AC} 21-B		B _{HSC N} 21-B	
		B _{HSC AC} 21-C		B _{HSC N} 21-C	
4	28	B _{HSC AC} 28-A	3	B _{HSC N} 28-A	3
		B _{HSC AC} 28-B		B _{HSC N} 28-B	
		B _{HSC AC} 28-C		B _{HSC N} 28-C	
Total Benda Uji AC			12	Total Benda Uji N	12
Jumlah Total Benda Uji					24

Pengujian beton segar yang dilakukan adalah uji *slump*. Kemudian, perawatan benda uji (*curing*) yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan cara merendam benda uji yang telah berumur 1 hari (24 jam) ke dalam bak *curing*. Selanjutnya untuk beton keras dilakukan uji kuat desak dan modulus elastisitas dengan alat *universal testing machine* (UTM). Sementara itu, uji mikrostruktur dilakukan dengan alat *surface area analyzer*. Alat uji kuat desak, modulus elastisitas dan mikrostruktur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



(a) *Universal Testing Machine* (b) *Surface Area Analyzer*

Gambar 1. Alat Uji yang Digunakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang Campur (*Mix Design*)

Komposisi material penyusun beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) dan beton dengan bahan tambah *accelerator* kadar 2% ($B_{HSC\ AC}$) yang digunakan per 1 m³ beton dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancang Campur Beton per 1 m³

Beton	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Agregat Halus (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	<i>Accelerator</i> (lt/m ³)	Air (lt/m ³)	<i>Admixture</i> (lt/m ³)
$B_{HSC\ N}$	991,98	780,67	550	0	123,75	7,15
$B_{HSC\ AC}$	984,48	774,76	539	11	123,75	7,15

Hasil Pengujian *Slump*

Hasil pengujian *slump* untuk beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) dan beton dengan bahan tambah *accelerator* kadar 2% ($B_{HSC\ AC}$) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Slump*

Beton	Nilai <i>Slump</i> (cm)
$B_{HSC\ N}$	12
$B_{HSC\ AC}$	11,5

Nilai *slump* beton pada Tabel 2 untuk beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) dan beton dengan bahan tambah *accelerator* kadar 2% ($B_{HSC\ AC}$) memenuhi nilai *slump* (untuk plat, balok, kolom, dinding) yang telah direncanakan sebelumnya sebesar 7,5 - 15 cm (Tjokrodimulyo,1992).

Hasil Pengujian Kuat Desak

Rekapitulasi hasil pengujian kuat desak untuk beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) dan beton dengan bahan tambah *accelerator* kadar 2% ($B_{HSC\ AC}$) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Desak

Umur	Beton	Kuat Desak (MPa)	Persentase Kenaikan Kuat Desak (%)
7 Hari	$B_{HSC\ N}$	31,75	26,08
	$B_{HSC\ AC}$	40,03	
14 Hari	$B_{HSC\ N}$	34,64	21,71
	$B_{HSC\ AC}$	42,17	
21 Hari	$B_{HSC\ N}$	39,74	17,49
	$B_{HSC\ AC}$	46,69	
28 Hari	$B_{HSC\ N}$	42,59	28,49
	$B_{HSC\ AC}$	54,73	

Pada umur 7 hari, nilai kuat desak beton dengan bahan tambah *accelerator* 2% sudah lebih tinggi dari nilai kuat desak beton tanpa bahan tambah dengan persentase kenaikan sebesar 26,08%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wisnumurti dkk (2007), dimana penggunaan penggunaan dosis yang optimal dari *accelerator* yaitu antara 2% - 5% akan memberikan pengaruh peningkatan kuat desak beton pada umur-umur awal. Peningkatan nilai kuat desak beton dengan penambahan *accelerator* dapat ditinjau dari sifat *accelerator* itu sendiri, yaitu mempercepat waktu *setting* atau pengikatan dan memiliki kekuatan awal serta kuat desak yang tinggi. Pada umur 7 hari, beton dengan bahan

tambah *accelerator* ($B_{HSC AC}$) belum dapat dikatakan sebagai beton mutu tinggi, namun pada umur 14, 21 dan 28 hari, beton dengan bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC AC}$) sudah dapat dikatakan sebagai beton mutu tinggi karena nilai kuat desak yang dihasilkan sudah lebih dari 41,4 MPa.

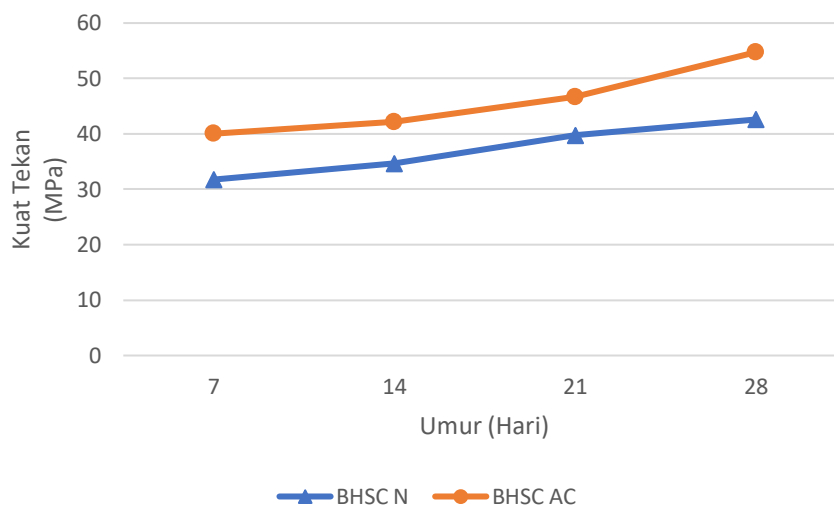
Secara kimiawi, penambahan *accelerator* dapat mempercepat hidrasi dari C_2S dan C_3S yang merupakan senyawa dalam beton yang memiliki sifat perekat dikarenakan terdapat senyawa $CaCl_2$ (kalsium klorida) dalam *accelerator* (Nugraha, 2007). Kalsium klorida berfungsi sebagai katalis atau segala sesuatu yang mengubah kecepatan reaksi tetapi bukan mengubah bagian dari reaksi itu pada proses hidrasi semen Portland (Dodson, 1990).

Hasil reaksi C_2S dan C_3S dengan air (H_2O) adalah CSH primer yang berfungsi sebagai perekat. Reaksi hidrasi semen dapat dilihat di bawah ini:



Senyawa CSH atau Kalsium Silikat Hidrat merupakan bahan pengikat dari pasta semen untuk mengikat agregat. Mempercepat reaksi C_2S dan C_3S berarti mempercepat juga pembentukan dari CSH, sehingga akan meningkatkan daya ikat pasta semen terhadap agregat dan juga menambah kekuatan lekatan di daerah *Interfacial Transition Zone* (ITZ) serta mengurangi porositas beton.

Kenaikan nilai kuat desak beton sejalan dengan pertambahan umur beton. Semakin bertambahnya umur beton maka nilai kuat desak beton akan semakin tinggi. Kenaikan nilai kuat desak beton ini berkaitan erat dengan proses hidrasi semen. Grafik hubungan kuat desak dengan umur beton dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kuat Desak dengan Umur Beton

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

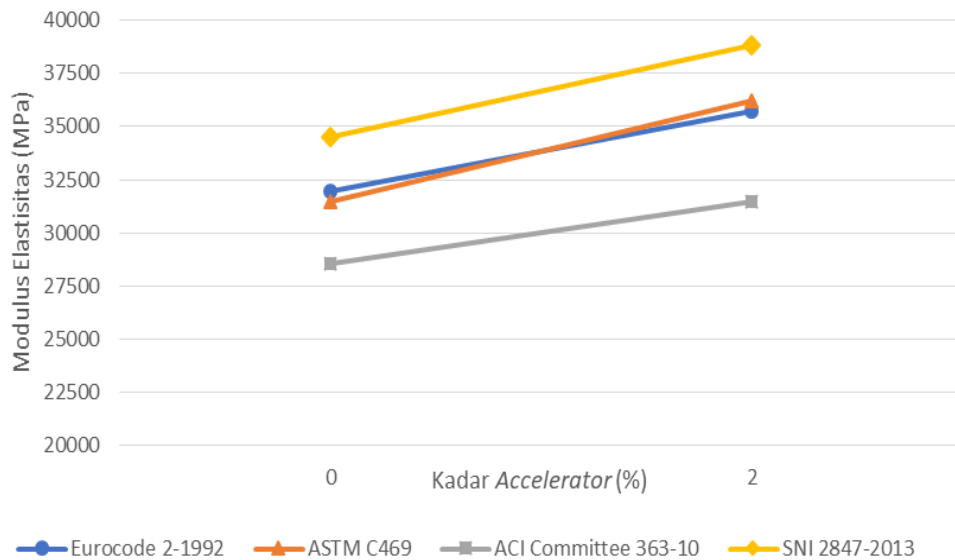
Perhitungan nilai modulus elastisitas percobaan dilakukan menggunakan Persamaan [2] dan [3] dengan cara membaca grafik tegangan regangan. Sementara itu, perhitungan nilai modulus elastisitas teoritis dilakukan menggunakan Persamaan [4] dan [5]. Rekapitulasi hasil perhitungan modulus elastisitas percobaan dan teoritis untuk beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC N}$) maupun beton dengan bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC AC}$) umur 7, 14, 21, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas

Umur	Beton	Ec Percobaan (MPa)		Ec Perhitungan (MPa)	
		Eurocode 2-1992	ASTM C469	ACI Committee 363-10	SNI 2847-2013
7 Hari	$B_{HSC N}$	24760,17	25436,67	25607,00	29806,81
	$B_{HSC AC}$	28613,40	29567,00	27902,88	33193,23
14 Hari	$B_{HSC N}$	27944,10	28173,00	26439,82	31133,78
	$B_{HSC AC}$	29941,35	30725,67	28457,74	34070,14
21 Hari	$B_{HSC N}$	31794,25	29576,67	27828,15	33345,88
	$B_{HSC AC}$	32576,36	33398,00	29585,26	35852,08
28 Hari	$B_{HSC N}$	31968,00	31497,00	28567,25	34523,54

$B_{HSC\ AC}$	35691,03	36234,00	31459,73	38814,53
---------------	----------	----------	----------	----------

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas hasil percobaan maupun perhitungan teoritis beton dengan bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ AC}$) pada umur ke 7 hari sudah lebih tinggi dari beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$). Hal ini disebabkan karena pengaruh penambahan *accelerator* akan mempercepat proses hidrasi C_2S dan C_3S sehingga beton akan lebih cepat mengalami pengerasan dan lebih padat. Grafik hasil perhitungan modulus elastisitas beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Modulus Elastisitas Percoaban dan Teoritis Umur 28 Hari

Hasil Pengujian *Surface Area Analysis* (SAA)

Pengujian *surface area analysis* (SAA) dilakukan untuk sampel beton umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Pengujian dilakukan dengan alat *surface area analyzer*. Sampel yang diuji berbentuk serbuk pasta yang berasal dari pecahan sampel beton yang sebelumnya telah dilakukan uji kuat desak dan sudah ditumbuk hingga sampel lolos ayakan no. 50 (0,3 mm).

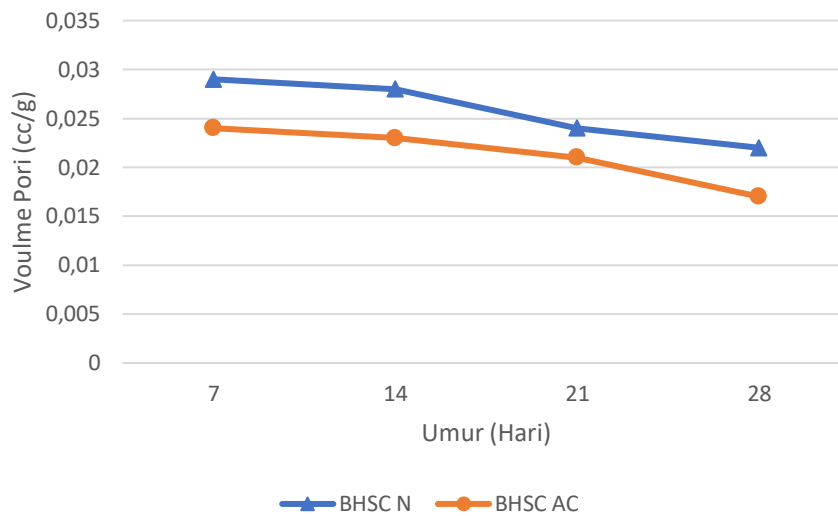
Rekapitulasi hasil pengujian *surface area analysis* untuk beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) maupun beton dengan bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ AC}$) umur 7, 14, 21, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian *Surface Area Analysis* (SAA)

Umur	Beton	Radius Pori (Å)	Volume Pori (cc/g)	Luas Permukaan (m ² /g)
7 Hari	$B_{HSC\ N}$	18,23	0,029	22,10
	$B_{HSC\ AC}$	18,17	0,024	19,17
14 Hari	$B_{HSC\ N}$	18,21	0,028	20,45
	$B_{HSC\ AC}$	18,14	0,023	17,55
21 Hari	$B_{HSC\ N}$	18,16	0,024	15,71
	$B_{HSC\ AC}$	18,10	0,021	11,15
28 Hari	$B_{HSC\ N}$	18,12	0,022	11,97
	$B_{HSC\ AC}$	18,00	0,017	9,67

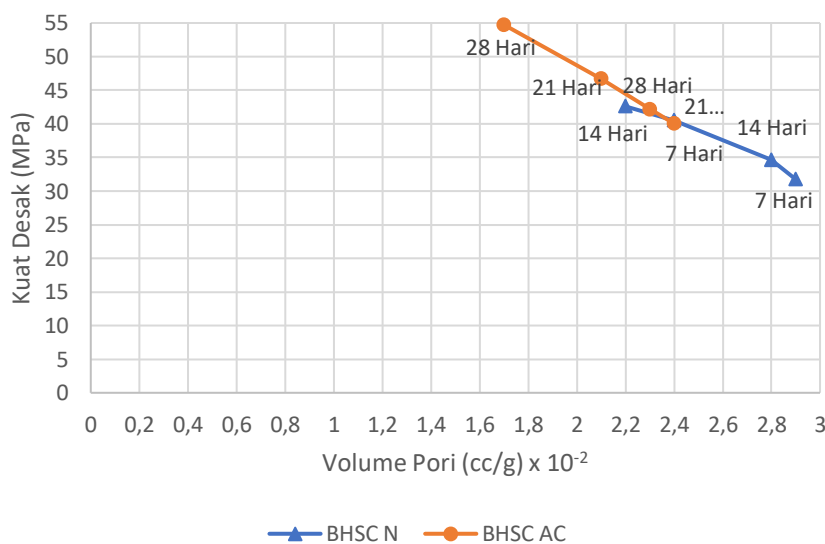
Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat hubungan antara luas permukaan dengan volume pori, yaitu dengan semakin bertambahnya umur beton normal tanpa bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ N}$) dan beton dengan bahan tambah *accelerator* ($B_{HSC\ AC}$) maka, nilai luas permukaan dan nilai volume pori beton akan semakin menurun. Nilai luas permukaan yang menurun seiring dengan bertambahnya umur beton disebabkan karena pori yang terbentuk semakin berkurang dan beton menjadi semakin padat akibat proses hidrasi yang terjadi. Proses hidrasi ini melibatkan senyawa C_2S dan C_3S yang bereaksi dengan air (H_2O) dan membentuk senyawa CSH. Semakin banyak CSH

yang terbentuk maka meningkatkan daya ikat pasta semen. Grafik perbandingan volume pori pasta beton B_{HSC} N dengan beton B_{HSC} AC dapat dilihat pada Gambar 4.

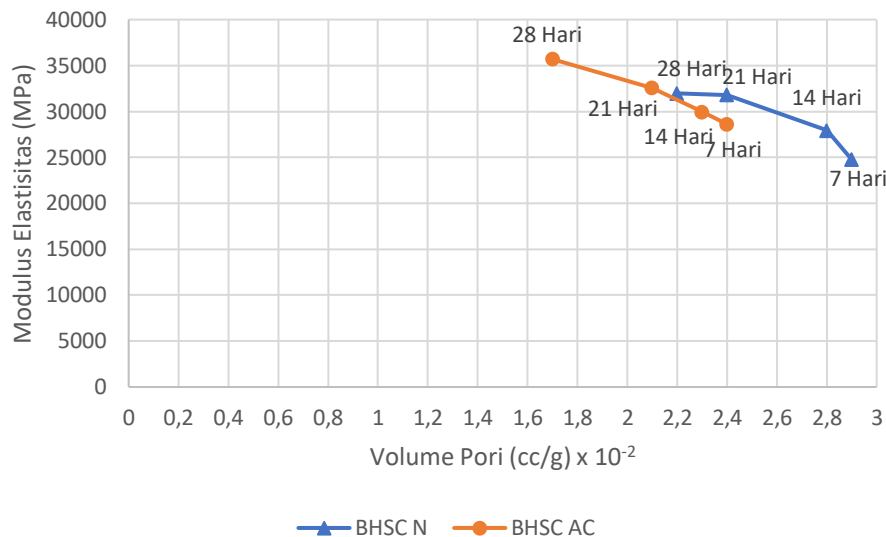


Gambar 4. Perbandingan Volume Pori antara Pasta Beton B_{HSC} N dan B_{HSC} AC

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa tingkat porositas pasta beton B_{HSC} AC lebih kecil dibandingkan dengan beton B_{HSC} N di semua umur ditunjukkan dengan nilai volume pori (cc/g) yang dihasilkan. Persentase penurunan nilai volume pori antara beton B_{HSC} N dengan beton B_{HSC} AC adalah sebesar 17,24% pada umur 7 hari; 17,86% pada umur 14 hari; 12,50% pada umur 21 hari dan 22,73% pada umur 28 hari. Daya ikat pasta semen yang meningkat akan memperkecil rongga-rongga yang ada di dalam beton sehingga beton menjadi lebih padat. Dengan tingkat porositas yang rendah dan kerapatan yang tinggi maka akan berpengaruh pada sifat mekanik beton, yaitu kuat desak dan modulus elastisitas. Hubungan volume pori dengan kuat desak dan modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hubungan Volume Pori dengan Kuat Desak Beton B_{HSC} N dan B_{HSC} AC



Gambar 6. Hubungan Volume Pori dengan Modulus Elastisitas (Eurocode 2-1992) Beton B_{HSC} N dan B_{HSC} AC

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat desak beton dengan bahan tambah *accelerator* (B_{HSC} AC) mendapatkan nilai yang lebih tinggi daripada beton tanpa bahan tambah (B_{HSC} N). Persentase kenaikan kuat desak rata-rata antara beton B_{HSC} AC dan B_{HSC} N pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari masing-masing adalah sebesar 26,08%; 21,71%; 17,49% dan 28,49%. Sementara itu, nilai volume pori (cc/g) beton dengan bahan tambah *accelerator* (B_{HSC} AC) lebih kecil daripada beton tanpa bahan tambah (B_{HSC} N) dengan persentase penurunan pada umur 7, 14, 21 dan 28 masing-masing adalah sebesar 17,24%; 17,86%; 12,50% dan 22,73%.
2. Beton dengan bahan tambah *accelerator* (B_{HSC}AC) memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton tanpa bahan tambah (B_{HSC} N). Persentase peningkatan nilai modulus elastisitas beton pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari masing-masing adalah sebesar 8,97%; 7,63%; 6,31% dan 10,13%. Sementara itu, nilai volume pori (cc/g) beton dengan bahan tambah *accelerator* (B_{HSC} AC) lebih kecil daripada beton tanpa bahan tambah (B_{HSC} N) dengan persentase penurunan pada umur 7, 14, 21 dan 28 masing-masing adalah sebesar 17,24%; 17,86%; 12,50% dan 22,73%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Laboratorium Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah menyediakan sarana dan prasarana dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Anonim. 2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang (SNI 03-6468-2000)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta Pusat.
- Anonim. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974-2011)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta Pusat.
- Anonim. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta Pusat.
- Anonim. 2017. *SikaCim Accelerator*. Product Data Sheet PT. Sika Indonesia. Jakarta.
- Hapsari, Wahyu. 2018. *Pengaruh Kadar Accelerator terhadap Kuat Tekan Pada High Strength Self Compacting Concrete (HSSCC) Benda Uji Silinder Umur 3, 7, 14, dan 28 Hari*. Jurnal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M. 1999. *Concrete Materials and Practice*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Nugraha, P. dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton dari Material. Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

Tjokrodimulyo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik. Yogyakarta.
Wisnumurti, dkk. 2007. *Pengaruh Penggunaan Akselerator Megaset Merah di Bawah Dosis Optimal Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Berbagai Variasi Umur Beton*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 1. Malang.