

# KAJIAN KUAT KEJUT DAN KEULETAN PADA BETON MUTU TINGGI MEMADAT MANDIRI MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH METAKAOLIN DENGAN VARIASI PERBANDINGAN ALKALI AKTIVATOR

Wibowo, Endah Safitri, Mohammad Kamal

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.  
Email: kamalmuhammad93@student.uns.ac.id

## Abstract

Research on concrete mix innovation continues to be carried out in line with the need for good concrete quality. High-Strength Self-Compacting Concrete (HSSCC) is one of the concrete innovations that requires additional materials to achieve its criteria. The three main additives that can be used are superplasticizer, metakaolin, and alkaline activator. As a civil engineering student, one of our tasks is to do a research about these materials. Where the results of this study are expected to be one of the basis for decision making in the field. This research was conducted to determine the effect on ratio variations of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  mass, which are 0 (no alkaline), 1/2, 2/2, and 3/2 with additional 17,5% metakaolin for impact strength and toughness value on HSSCC. The method used in this research is the experimental method. This research used a cylindrical concrete specimen with 15 cm diameter and 6 cm height for impact strength test, and a concrete beam 40 cm  $\times$  10 cm  $\times$  10 cm size for toughness test. The impact test performed with drop weight test method by impact loads, then the number of blows is recorded until the concrete collapses and calculate the absorption energy for each concrete variation. The toughness test performed with loading method at one point of loading using a Universal Testing Machine (UTM). Toughness is the ability of a structure or component to expand its strain from first yielding to breaking. The index of toughness is obtained from the area under the load-deflection regression before concrete cracks. The test was conducted when the concrete has 28 days old. The results showed that concrete with 2/2 ratio of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  mass variation had the highest impact strength and highest index of toughness, which are of 33207,3 Joules and 1,3026 kNmm.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  in the mixture increases the strength of concrete because it can accelerate the polymerization reaction (Provis and Deventer, 2009). But if the portion is too much, it tends to decrease strength due to difficulties during mixing and casting (Ekaputri, Triwulan, and Damayanti, 2007). For this reason, the recommended use of  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  as an activator is 2/2 or equal.

**Keywords:** HSSCC, impact strength, index of toughness, metakaolin,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , NaOH.

## Abstrak

Penelitian akan inovasi campuran beton terus dilakukan seiring dengan kebutuhan akan kualitas beton yang baik. Beton mutu tinggi memadat mandiri (HSSCC) merupakan salah satu inovasi beton yang membutuhkan bahan tambah untuk mencapai kriterianya. Tiga bahan tambah utama yang dapat digunakan antara lain *superplasticizer*, metakaolin, dan alkali aktivator. Sebagai mahasiswa teknik sipil, peneliti memiliki tugas salah satunya adalah untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bahan-bahan tersebut. Dimana hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu dasar dalam pengambilan keputusan di lapangan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan massa aktivator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  sebesar 0 (tanpa alkali), 1/2, 2/2, 3/2 dengan metakaolin 17,5% terhadap nilai kuat kejut dan keuletan beton HSSCC. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Digunakan benda uji beton silinder diameter 15 cm dengan tinggi 6 cm untuk pengujian kuat kejut dan beton balok dengan ukuran 40 cm  $\times$  10 cm  $\times$  10 cm untuk pengujian keuletan. Pengujian kuat kejut dilakukan dengan metode *drop weight test* oleh beban kejut, kemudian dilakukan pencatatan jumlah pukulan sampai benda uji runtuh dan perhitungan energi serapan setiap variasi beton. Pengujian keuletan dilakukan dengan metode pembebanan bertambah pada satu titik pembebanan menggunakan mesin UTM. Keuletan merupakan kemampuan suatu struktur atau komponen untuk mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga putus. Nilai keuletan didapat dari luasan di bawah regresi hubungan beban-lendutan sebelum beton retak. Pengujian dilakukan pada saat benda uji memiliki umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan perbandingan massa aktivator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  sebesar 2/2 mempunyai kuat kejut dan keuletan paling tinggi, berturut-turut dengan nilai 33207,3 Joule dan 1,3026 kNmm.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dalam campuran meningkatkan kekuatan beton karena dapat mempercepat reaksi polimerisasi (Provis dan Deventer, 2009). Namun apabila porsinya berlebih, cenderung dapat menurunkan kekuatan karena kesulitan saat pengadukan dan pengecoran (Ekaputri, Triwulan, dan Damayanti, 2007). Untuk itu penggunaan aktivator  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  yang disarankan adalah 2/2 atau sebanding.

**Kata Kunci:** HSSCC, kuat kejut, keuletan, metakaolin,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , NaOH

## PENDAHULUAN

Beton mutu tinggi memadat sendiri atau *high strength self-compacting concrete (HSSCC)* adalah jenis beton dengan nilai kuat tekan tinggi yang memiliki kemampuan dapat mengalir sendiri memenuhi celah-celah pada cetakan. Jenis beton ini dibutuhkan dalam komponen infrastruktur yang memiliki bentuk khusus dengan kebutuhan nilai kekuatan yang tinggi. Untuk memenuhi kebutuhan ini maka perlu adanya bahan tambah (*admixture*) dalam campuran beton tersebut.

Metakaolin merupakan material pozzolan hasil kalsinasi kaolin yang pada suhu 600 – 900°C. Metakolin banyak mengandung material silikat dan aluminat ( $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), yaitu unsur utama penyusun semen. Bahan tambah ini sebagai pengganti semen memerlukan aktivator agar dapat berperan sebagai *binder* pada campuran. Bahan aktivator yang dapat digunakan antara lain NaOH (*natrium hidroksida*) dan *waterglass* atau  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (*sodium silikat*). NaOH mempunyai fungsi untuk mengikat unsur-unsur Al dan Si dalam pasta, sedangkan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito, dkk, 2004). Sehingga dengan adanya penambahan alkali aktivator, campuran beton segar menjadi lebih kaku dan akan mengeras lebih cepat.

Uji kuat kejut dan keuletan memiliki tujuan yang berkaitan, yaitu mengenai sejauh mana beton mampu bertahan dan bagaimana kemampuan beton untuk menyebarkan energi yang diterima. Pada penelitian ini akan dilakukan variasi penambahan perbandingan massa alkali aktivator untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya pada campuran HSSCC.

### Landasan Teori

Menurut SNI 03-6468-2000 yang dapat dikategorikan sebagai beton mutu tinggi ialah beton dengan syarat nilai kuat tekan ( $F_c$ )  $\geq 41,4$  MPa. Beton Memadat Mandiri atau *Self-compacting Concrete* adalah inovasi beton yang tidak memerlukan alat pemadat untuk proses pemadatan. Beton ini mampu mengalir memenuhi *formwork* dengan beratnya sendiri, bahkan dalam tulangan yang rapat (EFNARC 2005).

Delista Putri (2020) dalam penelitiannya melakukan substitusi metakaolin dengan variasi persentase 0%; 10%; 12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% dari berat semen. Kadar metakaolin untuk mendapatkan kuat tekan tertinggi adalah 17,5% dengan kuat tekan sebesar 52,41 MPa. Silviana Valentin (2019) melakukan penelitian HSSCC dengan variasi bahan tambah metakaolin 0%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; dan 22,5% binder. Kadar metakaolin dengan nilai kuat tekan tertinggi adalah 17,5% yaitu sebesar 59,699 MPa. Sehingga pada penelitian kali ini, ditetapkan metakaolin sebagai variabel tetap dengan kadar 17,5% dari berat semen.

Aktivator adalah suatu zat yang dapat menyebabkan zat lain bereaksi. Hardjito dan Rangan (2005) menyatakan aktivator yang umumnya digunakan adalah *sodium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan *sodium hidroksida* (NaOH) 8M sampai 14M dengan perbandingan antara 1:2 sampai dengan 5:2.  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$  dapat membantu *leaching* Si dan Al pada bahan tambah seperti *fly ash*, kemudian  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  akan berperan membentuk ikatan monomer Si–O dan Al–O (Davidovits, 1991). Hal ini adalah dasar pemilihan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebagai alkali aktivator untuk metakaolin pada penelitian kali ini, yang mana metakaolin juga banyak mengandung  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Namun Ekaputri dalam penelitiannya menyatakan, semakin tinggi nilai perbandingan *sodium silikat* dengan larutan *natrium hidroksida* tidak selalu menghasilkan kuat tekan yang tinggi, sedangkan semakin tinggi molaritas *natrium hidroksida* yang digunakan, maka akan semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan (Ekaputri dan Triwulan, 2013). Sehingga dalam penelitian ini dilakukan variasi perbandingan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan NaOH untuk memperbanyak data mengenai sifat alkali aktivator.

Pengujian yang dilakukan pada beton keras antara lain uji kuat kejut (*impact strength*) dan uji keuletan (*toughness*). Pengujian kuat kejut dilaksanakan dengan prinsip *drop weight test* untuk memberikan beban kejut pada benda uji. Sedangkan uji keuletan berdasar pada ASTM C-293, yaitu standar pengujian kuat lentur beton untuk mengetahui beban maksimum. *Index of toughness* merupakan nilai luasan hubungan antara beban maksimum yang dapat diterima dengan lendutan maksimum yang terjadi.

### METODE

Pada penelitian ini terdapat 2 jenis benda uji. Benda uji untuk pengujian kuat kejut merupakan silinder beton yang mempunyai ukuran  $d = 15$  cm dan  $t = 6$  cm. Sedangkan benda uji keuletan adalah balok beton yang mempunyai ukuran  $p = 40$  cm,  $l = 10$  cm,  $t = 10$  cm. Kadar metakaolin yang digunakan adalah 17,5 % dari berat binder. Digunakan nilai FAS sebesar 0,31. dengan kadar *superplasticizer* 1,5 % dari berat binder dan molaritas NaOH

ditetapkan 10 M. Kemudian dilakukan variasi nilai perbandingan massa senyawa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan massa larutan NaOH antara lain 1/2, 2/2, 3/2, dan tanpa alkali aktivator sebagai pembanding. Uji kuat kejut dan keuletan dilaksanakan pada saat benda uji berumur 28 hari. Keterangan mengenai kode dan jumlah benda uji tertera pada Tabel 1, kemudian untuk *mix design* tertera pada Tabel 2.

Tabel 1. Kode dan jumlah kebutuhan benda uji

No.	Perbandingan massa $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ / NaOH	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah
<b>UJI KUAT KEJUT</b>				
1.	1/2	HSSCC-Mk-I-1/2	28	3
2.	2/2	HSSCC-Mk-I-2/2	28	3
3.	3/2	HSSCC-Mk-I-3/2	28	3
4.	Tanpa alkali aktivator	HSSCC-Mk-I-0	28	3
<b>UJI KEULETAN</b>				
1.	1/2	HSSCC-Mk-K-1/2	28	3
2.	2/2	HSSCC-Mk-K-2/2	28	3
3.	3/2	HSSCC-Mk-K-3/2	28	3
4.	Tanpa alkali aktivator	HSSCC-Mk-K-0	28	3
<b>TOTAL BENDA UJI KESELURUHAN</b>				<b>24</b>

Tabel 2. Rekapitulasi *mix design*

Kode Benda Uji	Pasir ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Kerikil ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Metakaolin ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Semen ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	SP ( $\text{Lt}/\text{m}^3$ )	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (kg)	NaOH (kg)	Air (Lt)
HSSCC-Mk-Alkali 0	878,36	729,59	105	495	9	0	0	186
HSSCC-Mk-Alkali 1/2	848,75	704,99	105	465	9	10	20	186
HSSCC-Mk-Alkali 2/2	848,75	704,99	105	465	9	15	15	186
HSSCC-Mk-Alkali 3/2	848,75	704,99	105	465	9	18	12	186

### Pengujian Beton Segar

Pengujian ini adalah untuk mengetahui *workability* pada beton saat dalam keadaan segar. Peneliti melakukan pengujian untuk memenuhi kriteria SCC berdasar EFNARC 2005 antara lain pengujian  $T_{500}$  dan  $D_{\text{rerata}}$  *slump flow* (untuk mengetahui *segregation resistance* dan *flow ability*), pengujian *V-funnel* (untuk mengetahui *filling ability*), serta pengujian *L-box* (untuk mengetahui *passing ability*).

### Pengujian Kuat Kejut

Ketahanan kejut atau kuat kejut diartikan sebagai besarnya energi yang dapat diserap suatu benda sampai benda tersebut mengalami retak atau keruntuhan. Besarnya energi serapan dapat diketahui dari jumlah pukulan suatu beban kejut yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Menurut Gere dan Timoshenko (2000), pendekatan rumus untuk menghitung energi serapan adalah:

$$E = 2nmgh \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan:

- E = Energi serapan (Joule)
- n = Jumlah Pukulan
- m = Massa beban kejut (kg)
- g = Percepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
- h = Tinggi jatuh beban (m)

Berikut adalah tahapan dari uji kuat kejut:

- a. menyiapkan benda uji pada alas dudukan datar,
- b. mempersiapkan beban kejut ( $d = 15 \text{ cm}$ ,  $t = 3,6 \text{ cm}$ , dan  $m = 5 \text{ kg}$ ) dan digunakan pipa paralon untuk memposisikan jatuhnya beban. Beban kejut dikaitkan dengan tali dan digantung dengan katrol sedemikian rupa sehingga jarak antara benda uji dengan beban kejut  $0,45 \text{ m}$ ,
- c. menjatuhkan beban kejut dan mengamati apabila terjadi retak rambut dan runtuh secara visual,
- d. mencatat jumlah pukulan yang terjadi sampai benda uji mengalami retak dan runtuh total.

### Pengujian Keuletan

Nilai keuletan menggambarkan bagaimana kemampuan beton dalam menyebarkan energi dalam bentuk angka. Nilai keuletan dapat dihitung dari grafik hubungan beban – lendutan hasil uji kuat lentur menggunakan alat seperti UTM (*Universal Testing Machine*). Untuk memperoleh nilai keuletan dilakukan perhitungan luas bidang di bawah garis regresi  $f(x)$  dari hubungan besarnya beban  $P$  (kN) dan lendutan/defleksi  $\delta$  (mm) yang terjadi. Luasan tersebut dapat dihitung menggunakan rumus integral sebagai berikut:

$$L = \int_a^b f(x)dx \dots\dots\dots [2]$$

dimana:

- L = nilai keuletan atau *index of toughness* (kNmm)
- $f(x)$  = garis regresi  $P$  (kN) dengan lendutan  $\delta$  (mm)
- a = lendutan awal, 0 mm (mm)
- b = lendutan saat terjadi retakan pertama (mm)

Berikut adalah langkah – langkah dari pengujian keuletan:

- a. menyiapkan benda uji pada UTM dan mengatur jarak perletakan sehingga benda uji berada di tengah dan tumpuan berada pada 5 cm dari pinggir kanan dan kiri benda uji,
- b. meletakkan *dial gauge* di bawah benda uji. *Dial gauge* akan menampilkan besarnya defleksi yang terjadi tiap pembebanan konstan,
- c. menjalankan mesin pembebanan dan akan memberikan beban yang meningkat secara konstan. Bersamaan dengan itu, dilakukan pencatatan defleksi pada *dial gauge* untuk setiap 100 kgf,
- d. melakukan pembebanan hingga balok retak pertama, terjadinya retakan ditandai dengan turunnya bacaan UTM. Kemudian dicatat besarnya beban maksimum dan defleksi saat terjadi retakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian *slump flow*, *V-funnel*, dan *L-box* pada penelitian ini tertera pada Tabel 3 – Tabel 5 dan Gambar 1 – Gambar 4.

Tabel 3. Hasil Uji *Slump Flow*

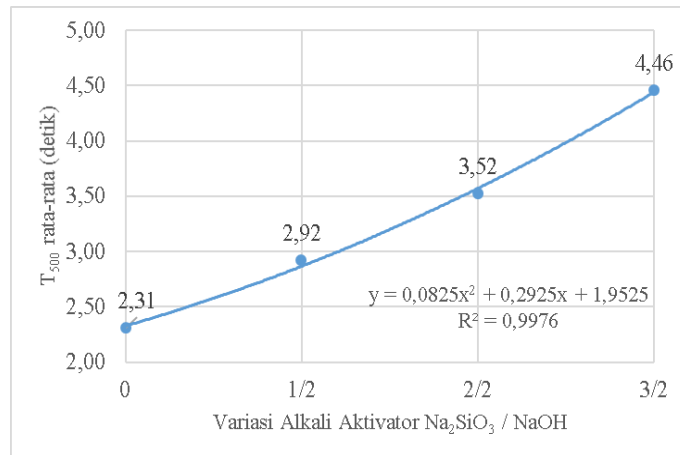
Kode Benda Uji	T <sub>500</sub> (detik)	Syarat (detik)	Ket.	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>rerata</sub> (mm)	Syarat (mm)	Ket.
HSSCC-Mk-Alkali 0	2,31	2 – 5 EFN/ARC 2005	Memenuhi	730	760	745	650 – 800 EFN/ARC 2005	Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 1/2	2,92		Memenuhi	720	730	725		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 2/2	3,52		Memenuhi	720	690	705		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 3/2	4,46		Memenuhi	680	680	680		Memenuhi

Tabel 4. Hasil Uji *V-Funnel*

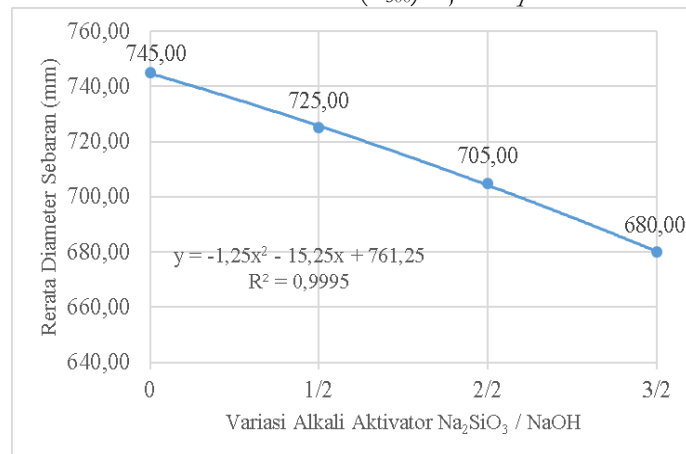
Kode Benda Uji	Waktu Alir (detik)	Syarat (detik)	Ket.
HSSCC-Mk-Alkali 0	6,87	6 – 25 EFN/ARC C 2005	Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 1/2	9,39		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 2/2	13,57		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 3/2	17,46		Memenuhi

Tabel 5. Hasil Uji *L-Box*

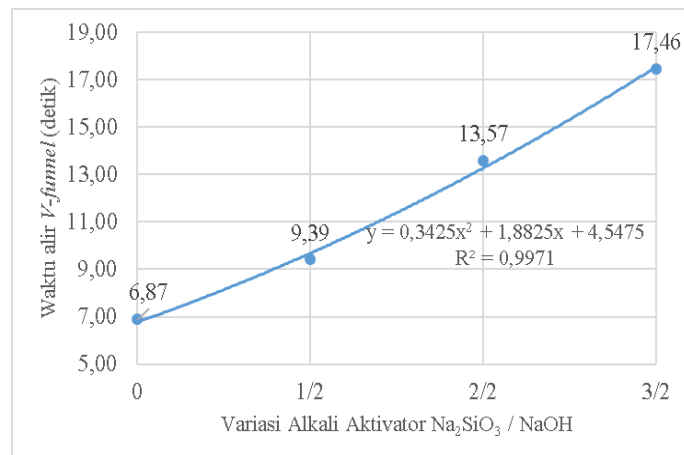
Kode Benda Uji	h <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub>	Syarat	Ket.
HSSCC-Mk-Alkali 0	89	93	0,96	0,8 – 1 EFN/ARC C 2005	Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 1/2	84	93	0,90		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 2/2	79	97	0,81		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 3/2	58	102	0,57		Tidak Memenuhi



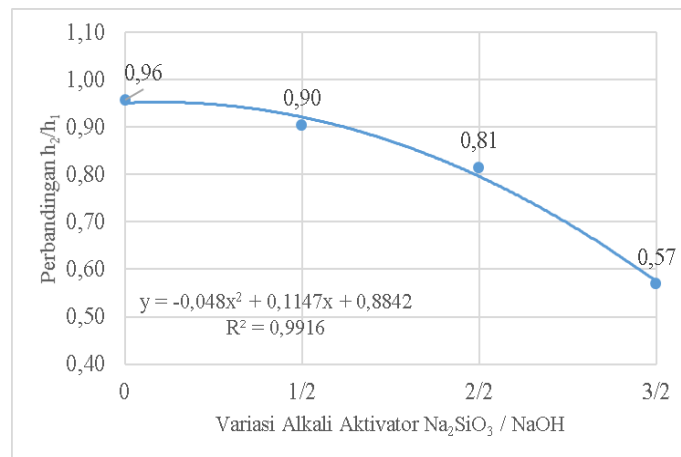
Gambar 1. Grafik Waktu Alir ( $T_{500}$ ) Uji *Slump Flow*



Gambar 2. Grafik Diameter Rata-rata Uji *Slump Flow*



Gambar 3. Grafik Waktu Alir Uji *V-Funnel*



Gambar 4. Grafik Nilai h<sub>2</sub>/h<sub>1</sub> Uji L-Box

### Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan perlu dilakukan sebagai syarat beton mutu tinggi. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Rerata Uji Kuat Tekan Beton

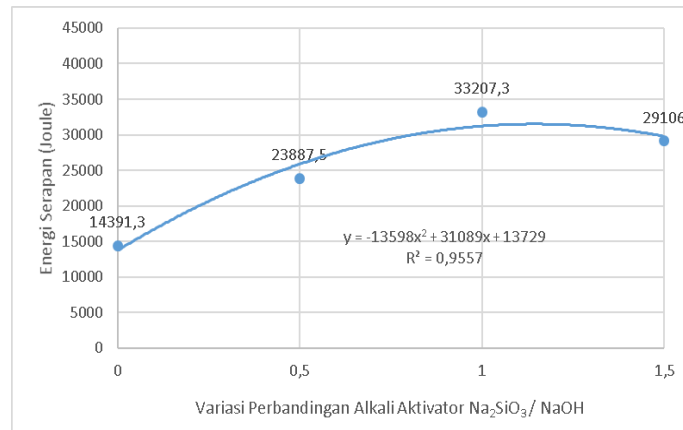
Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Syarat (MPa)	Ket.
HSSCC-Mk-Alkali 0	41,71	≥ 41,4 SNI 03-6468-2000	Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 1/2	43,69		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 2/2	46,90		Memenuhi
HSSCC-Mk-Alkali 3/2	44,73		Memenuhi

### Hasil Uji Kuat Kejut Beton

Rekapitulasi pengujian kuat kejut tertera pada Tabel 7 dan Gambar 5.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Kejut Beton

Benda Uji	Jumlah Pukulan	Rata-Rata Jumlah Pukulan	Energi Serapan Rerata (Joule)	Kenaikan (%)
HSSCC-Mk-I-0-1	350	326	14391,3	-
HSSCC-Mk-I-0-2	290			
HSSCC-Mk-I-0-3	339			
HSSCC-Mk-I-1/2-1	580	542	23887,5	65,99
HSSCC-Mk-I-1/2-2	514			
HSSCC-Mk-I-1/2-3	531			
HSSCC-Mk-I-2/2-1	747	753	33207,3	130,75
HSSCC-Mk-I-2/2-2	724			
HSSCC-Mk-I-2/2-3	780			
HSSCC-Mk-I-3/2-1	650	660	29106,0	102,25
HSSCC-Mk-I-3/2-2	672			
HSSCC-Mk-I-3/2-3	658			



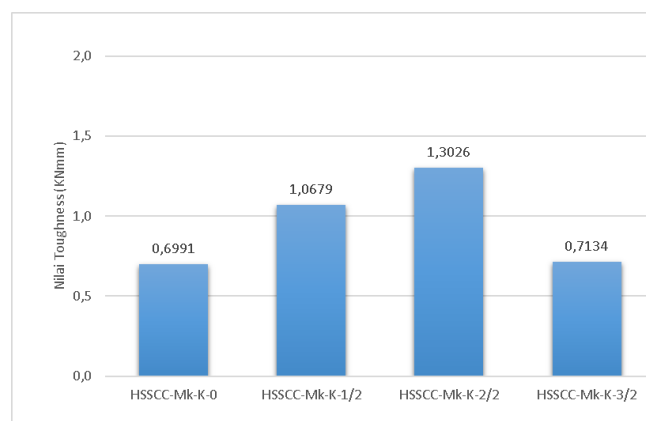
Gambar 5. Grafik Nilai Kuat Kejut Benda Uji

### Hasil Pengujian Keuletan Beton

Hasil Rekapitulasi Pengujian Keuletan benda uji tertera pada Tabel 8 dan Gambar 6.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Uji Keuletan Beton

Benda Uji	Persamaan Regresi	Defleksi Maks. (mm)	Keuletan (kNmm)	Keuletan Rerata (kNmm)	Kenaikan (%)
HSSCC-Mk-K-0-1	$y = -189,98x^2 + 94,95x + 0,758$	0,13	0,7617		
HSSCC-Mk-K-0-2	$y = -39,997x^2 + 73,417x + 0,5376$	0,13	0,6610	0,6991	-
HSSCC-Mk-K-0-3	$y = -31,498x^2 + 64,673x + 0,4977$	0,14	0,6747		
HSSCC-Mk-K-1/2-1	$y = -28,848x^2 + 53,495x + 0,5941$	0,19	1,0125		
HSSCC-Mk-K-1/2-2	$y = -103,51x^2 + 81,346x + 0,1537$	0,18	1,1442	1,0679	52,75
HSSCC-Mk-K-1/2-3	$y = 1,6978x^2 + 58,824x + 0,5035$	0,18	1,0469		
HSSCC-Mk-K-2/2-1	$y = 42,587x^2 + 19,323x + 0,0768$	0,30	1,2759		
HSSCC-Mk-K-2/2-2	$y = 51,962x^2 + 21,856x - 0,0124$	0,29	1,3451	1,3026	86,32
HSSCC-Mk-K-2/2-3	$y = 72,52x^2 + 12,956x + 0,1708$	0,30	1,2869		
HSSCC-Mk-K-3/2-1	$y = -117,04x^2 + 75,208x + 0,6031$	0,14	0,7144		
HSSCC-Mk-K-3/2-2	$y = -90,642x^2 + 94,666x + 0,6921$	0,12	0,7124	0,7134	2,05
HSSCC-Mk-K-3/2-3	$y = 123,91x^2 + 49,463x + 0,2298$	0,13	0,5386		



Gambar 6. Grafik Nilai Keuletan Benda Uji

### Pembahasan

Berdasarkan pengujian beton segar, semakin tinggi nilai perbandingan alkali aktivator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH) dalam campuran HSSCC metakaolin dapat menyebabkan penurunan nilai *workability*. Penurunan nilai ini terjadi karena pengaruh dari sifat alkali aktivator yang mempercepat waktu *setting*. Berdasarkan pengujian ini, penggunaan alkali aktivator yang disarankan adalah sama perbandingan massanya yaitu 2/2 atau nilai perbandingan sama dengan satu agar dapat mencapai SCC.

Dari hasil pengujian beton keras dapat diketahui bahwa benda uji dengan penambahan alkali aktivator memiliki nilai kuat kejut dan keuletan yang lebih besar daripada benda uji tanpa alkali aktivator. Hal ini disebabkan oleh adanya adanya reaksi saling mengikat antara metakaolin dengan alkali aktivator, sedangkan pada benda uji tanpa alkali metakaolin hanya berperan sebagai *filler* saja. Nilai kuat kejut dan keuletan benda uji dengan penambahan alkali variasi perbandingan 1/2 lebih besar daripada benda uji tanpa alkali. Lalu nilai tertinggi ditunjukkan pada benda uji dengan variasi perbandingan alkali 2/2. Kemudian nilai tersebut terlihat menurun pada variasi 3/2. Provis (Provis dan Deventer, 2009) menyatakan bahwa NaOH (*natrium hidroksida*) berperan dalam pembentukan formasi zeolit (ikatan antara unsur-unsur Si, O, Al, dan OH<sup>-</sup>), sementara itu Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (*sodium silikat*) dalam campuran juga ikut berperan dalam meningkatkan kekuatan beton karena dapat mempercepat reaksi polimerisasi. Oleh sebab itu beton yang mengandung sedikit *sodium silikat* belum memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya. Ekaputri dalam penelitiannya menyatakan kandungan *sodium silikat* berlebih dapat menurunkan kuat tekan karena kesulitan saat pengadukan dan pengecoran (Ekaputri, Triwulan, dan Damayanti, 2007). Hal ini sesuai dengan kasus variasi perbandingan alkali 3/2, adanya penambahan *sodium silikat* menyebabkan larutan alkali menjadi lebih kental. Oleh karena itu proses pencampuran beton menjadi kurang sempurna sehingga kekuatan beton menjadi lebih kecil.

## SIMPULAN

Dari hasil penelitian untuk kajian kuat kejut dan keuletan HSSCC metakaolin dengan variasi perbandingan alkali aktivator, dapat disimpulkan:

1. Penambahan alkali aktivator pada HSSCC metakaolin meningkatkan nilai kuat kejut beton bila dibandingkan dengan HSSCC metakaolin tanpa alkali aktivator. Nilai kuat kejut beton terbesar terjadi pada variasi perbandingan alkali aktivator (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH) 2/2. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat kejut benda uji tanpa alkali dan dengan penambahan variasi perbandingan alkali 1/2, 2/2, dan 3/2 saat runtuh total berturut-turut 14391,3 Joule, 23887,5 Joule, 33207,3 Joule, dan 29106,0 Joule.
2. Nilai keuletan beton terbesar terjadi pada HSSCC metakaolin variasi perbandingan alkali aktivator 2/2. Hasil penelitian menunjukkan nilai keuletan benda uji tanpa alkali dan dengan penambahan variasi perbandingan alkali 1/2, 2/2, dan 3/2 berturut-turut 0,6991 kNmm, 1,0679 kNmm, 1,3026 kNmm, dan 0,7134 kNmm.
3. Semakin tinggi nilai perbandingan antara Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> dengan NaOH, belum tentu nilai kuat kejut dan keuletan menjadi semakin tinggi juga. Nilai perbandingan alkali aktivator yang disarankan adalah 2/2 atau sebanding.

## REFERENSI

- Anonim, 2000, "SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang", Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Anonim, 2002. "ASTM C293 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)", ASTM International. USA.
- Anonim, 2005, "EFNARC 2005 Specification and Guidelines For Self-Compacting Concrete".
- Davidovits, J., 1991, "Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials", *Journal of Thermal Analysis*, Vol. 37, pp. 1633-1656.
- Ekaputri, J. J., Triwulan, dan Damayanti, O., 2007, "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton sebagai Material Alternatif", *Jurnal PONDASI*. Vol. 13, No. 2, pp. 124-134.
- Ekaputri, J. J., 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. 1-9.
- Gere, J.M., dan Timoshenko, S.P., 2000, "Mekanika Bahan (Terjemahan)". Erlangga. Jakarta.
- Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., dan Rangan, B.V., 2004, "Factor Influencing The Compressive Strength of Fly Ash-based Geopolymer Concrete", *Civil Engineering Dimension*. Vol. 6, No. 2.
- Hardjito, D., dan Rangan, B.V., 2005, "Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete", Research Report GC 1. Perth: Curtin University of Technology.
- Provis, J.L., dan Deventer, J.S.J.V., 2009, "Activating Solution Chemistry For Geopolymers", Woodhead Publishing. Abingdon.
- Putri, D., 2020, "Kajian Serapan CO<sub>2</sub> dan Karbonasi pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Komposisi Metakaolin", Skripsi. Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Valentin, S., 2019, "Kajian Serapan dan Penetrasi Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Komposisi Metakaolin dengan Superplasticizer MasterEase 3029 Kadar 1,9% dari Berat Binder", Skripsi. Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.