

# KAJIAN NILAI SUSUT KERING PADA BETON MEMADAT MANDIRI MUTU TINGGI DENGAN METAKAOLIN 12,5% DAN VARIASI LIMBAH PECAHAN KERAMIK

Wibowo, Endah Safitri, Nanda Yusuf Pribadi Wicaksana

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126

\*Email: [wibowosipil87@ft.uns.ac.id](mailto:wibowosipil87@ft.uns.ac.id)

## Abstract

The difficulty of fresh concrete to flow through reinforcement and the abundance of solid construction waste are problems that often arise in the construction world. The reuse of solid construction waste especially ceramic waste as an innovation of natural coarse aggregate substitution on high-strength self-compacting concrete can be a solution to the problem above. Drying shrinkage is a reduction in the volume of concrete due to loss of water in the concrete which can cause cracks in the concrete. Therefore, it is necessary to study the value of drying shrinkage in concrete. In this study, metakaolin is an alternative cement substitution. The testing object used in this research was a beam measuring 300x100x100 mm. The drying shrinkage test was carried out on concrete starting from 1 day – 28 days old concrete by measuring shrinkage using the Demec Gauge. The results of this study show that the substitution of 12,5% metakaolin by weight of cement and the substitution of natural coarse aggregate with ceramic waste aggregate fulfills the self-compacting concrete parameters based on EFNARC 2005 and increases the drying shrinkage value. The ceramic waste aggregate substitution used was 0%, 20%, 30%, and 40% respectively resulting in drying shrinkage values of 605.152; 643.238; 702.264; dan 778,750. The drying shrinkage value of concrete increases along with the addition of ceramic aggregate substitution.

**Keywords:** ceramic waste aggregate, drying shrinkage, high-strength self-compacting concrete, metakaolin.

## Abstrak

Sulitnya beton segar mengalir melalui tulangan dan melimpahnya limbah padat konstruksi menjadi permasalahan yang sering muncul pada dunia konstruksi. Penggunaan kembali limbah padat konstruksi khususnya limbah pecahan keramik sebagai inovasi substitusi agregat kasar alami pada beton mutu tinggi memadat mandiri dapat menjadi solusi permasalahan di atas. Metakaolin pada penelitian ini merupakan alternatif substitusi semen. Susut kering adalah berkurangnya volume beton akibat hilangnya air pada beton yang dapat menyebabkan retak pada beton. Oleh karena itu perlu dikaji mengenai nilai susut kering pada beton. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa balok berukuran 300x100x100 mm. Pengujian susut kering beton dilaksanakan mulai dari beton berumur 1 hari – 28 hari dengan menggunakan alat Demec Gauge. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi metakaolin 12,5% dari berat semen dan substitusi agregat kasar alami dengan agregat limbah pecahan keramik memenuhi parameter beton memadat mandiri berdasarkan EFNARC 2002 dan mampu meningkatkan nilai susut kering beton. Penggantian variasi agregat limbah pecahan keramik dengan kadar 0%, 20%, 30%, dan 40% menghasilkan nilai susut kering berturut-turut 605,152; 643,238; 702,264; dan 778,750. Nilai susut kering beton semakin meningkat seiring bertambahnya substitusi agregat limbah pecahan keramik.

**Kata Kunci :** agregat limbah pecahan keramik, beton mutu tinggi memadat mandiri, nilai susut kering, metakaolin.

## PENDAHULUAN

Industri konstruksi Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat karena masuknya pembangunan infrastruktur sebagai salah satu program prioritas Indonesia. Seiring berkembangnya industri konstruksi Indonesia keberadaan limbah padat konstruksi semakin meningkat, salah satunya keramik, dan akan berdampak negatif bagi lingkungan sekitar. Konstruksi berkelanjutan atau *Sustainable Construction* merupakan solusi melimpahnya limbah padat konstruksi. Untuk mendukung keberjalanan konstruksi berkelanjutan, perlu digencarkan adanya penelitian inovasi beton yang memiliki mutu tinggi namun ramah lingkungan. Penelitian tentang durabilitas beton yang ramah lingkungan telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang menjanjikan (Palankar dkk., 2016; Amran dkk., 2021; Saranya dkk., 2018).

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi. Dalam penggunaannya di lapangan banyak muncul permasalahan, salah satunya adalah beton segar kesulitan untuk mengalir melalui tulangan yang menyebabkan beton tidak memadat dengan sempurna sehingga mengalami penurunan kekuatan. Oleh karena itu perlu dilakukan inovasi pada beton agar mendapatkan beton yang berkekuatan tinggi dan mampu mengalir melalui rapatnya tulangan. *High Strength Self Compacting Concrete* (HSSCC) adalah beton yang

memiliki kuat tekan tinggi (Parra dkk., 2011), kemampuan pengerjaan yang bagus (Ofuyatan dkk., 2020), kemampuan pengaliran yang bagus (Aslani dkk., 2018), dan ketahanan akan segregasi (Nanthagopalan dan Santhanam., 2011;).

Penelitian ini menggunakan metakaolin sebagai bahan substitusi semen yang akan berperan sebagai perekat dan *filler* sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton. Metakaolin adalah serbuk pozzolan berukuran 0,5 sampai 5 mikron yang berasal dari bahan kaolin yang dipanaskan pada suhu 500°C - 900°C. Kaolin merupakan salah satu mineral tanah liat (lempung) yang mengandung lapisan aluminium silikat yang biasa dijumpai pada pembuatan porselen.

Limbah konstruksi terdiri dari berbagai macam wujud, diantaranya berupa beton, aspal, dan pecahan keramik (Anderson, dkk. 2016). Meningkatnya jumlah limbah padat konstruksi menginisiasi adanya inovasi penggunaan limbah padat konstruksi tersebut sebagai pengganti agregat alami, salah satunya dengan agregat daur ulang limbah padat konstruksi yang berasal dari pecahan keramik.

Susut kering merupakan penyebab utama dari memburuknya kondisi beton karena mampu menyebabkan retak yang berujung masuknya zat-zat berbahaya ke dalam beton sehingga mempengaruhi durabilitas beton (Abdalmid dkk. 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikaji pengaruh substitusi metakaolin 12,5% dari berat semen dan limbah pecahan keramik dengan kadar 20%, 30%, dan 40% dari berat total agregat kasar terhadap nilai susut kering beton.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan pengujian secara langsung di laboratorium. Benda uji untuk pengujian susut kering berupa balok dengan dimensi 300×100×100 mm sebanyak 16 buah. Pada beton segar dilakukan pengujian untuk memastikan beton memenuhi parameter *Self Compacting Concrete* (SCC) mengacu pada EFNARC 2005. Pengujian susut kering dilakukan saat beton berumur 1 – 28 hari menggunakan alat *demec gauge*. Pengujian terdiri dari tiga variasi kadar limbah pecahan keramik dan satu variasi beton tanpa limbah pecahan keramik yang digunakan sebagai pembanding. Pembuatan benda uji masing – masing variasi dibuat empat benda uji. Kode dan jumlah benda uji untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Benda uji susut kering

No.	Kadar Limbah Pecahan Keramik	Kadar Metakaolin	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
<b>Uji Susut Kering</b>					
1	0%	12,5%	HSSCC-RWCA-0%	28	4
2	20%	12,5%	HSSCC-RWCA-20%	28	4
3	30%	12,5%	HSSCC-RWCA-30%	28	4
4	40%	12,5%	HSSCC-RWCA-40%	28	4
<b>Total Benda Uji Susut kering</b>					16

## Mix Design

Penyusunan *mix design* beton mutu tinggi memadat mandiri dengan metakaolin 12,5% dan variasi limbah pecahan keramik berdasarkan EFNARC 2005. Pada penelitian ini digunakan FAS sebesar 0,33 dan superplasticizer Sika Viscocrete sebanyak 1,5% dari berat semen. *Mix design* yang digunakan diperoleh dari *trial and error* hingga memenuhi standar yang digunakan pada penelitian ini. Rekapitulasi *mix design* beton HSSCC Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi *Mix Design* Beton Memadat Mandiri Mutu Tinggi

Benda Uji	Agg. Halus (Kg/m <sup>3</sup> )	Agg. Kasar (Kg/m <sup>3</sup> )	Agg. Kasar Keramik (Kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Metakaolin (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (lt/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
HSSCC-RWCA-0%	861,52	704,88	0,00	525	75	9	198
HSSCC-RWCA-20%	861,52	563,91	140,98	525	75	9	198
HSSCC-RWCA-30%	861,52	492,42	211,46	525	75	9	198
HSSCC-RWCA-40%	861,52	422,93	281,95	525	75	9	198

### Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan untuk mengetahui apakah adukan beton memenuhi parameter beton SCC mengacu pada EFNARC 2005 yaitu *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance* dengan menggunakan pengujian *slump flow test*, *L-box test*, dan *V-funnel test*.

### Pengujian Susut Kering

Pengujian susut kering dilakukan pada benda uji balok berukuran 300x100x100 mm saat beton berumur 1 – 28 hari. Uji susut kering dilakukan untuk mengetahui nilai susut kering beton untuk setiap variasi limbah pecahan keramik. Nilai susut kering didapat dengan cara membandingkan antara selisih panjang awal dan panjang akhir dengan panjang mula-mula benda uji sesuai Persamaan [1] berikut.

$$(\epsilon_{SH}) = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan:

$(\epsilon_{SH})$  = besar nilai *shrinkage*

$\Delta L$  = perubahan panjang setelah t waktu (mm)

$L_0$  = panjang mula-mula (mm)

ACI Committee 209 merekomendasikan untuk memprediksikan penyusutan beton jangka panjang dari data-data jangka pendek yang dihitung dengan menggunakan Persamaan [2].

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{55 + t} (\epsilon_{SH})_u \dots\dots\dots [2]$$

dimana:

$(\epsilon_{SH})_t$  = *shrinkage* umur t (selama pengujian)

$(\epsilon_{SH})_u$  = *ultimate shrinkage*

t = umur pengeringan (hari)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Beton Segar

Rekapitulasi hasil pengujian *slump flow test*, *L-box test*, dan *V-funnel test* beton segar HSSCC pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 – Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Slump Flow*

Nama Benda Uji	Pengujian <i>Slump Flow</i>							
	T <sub>500</sub> rerata (detik)	Syarat	Ket.	D <sub>1</sub> (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	D <sub>rerata</sub> (mm)	Syarat	Ket.
HSSCC-RWCA-0%	3,5		√	720	710	715		√
HSSCC-RWCA-20%	3,5	2-5 detik	√	690	680	685	650-800 mm	√
HSSCC-RWCA-30%	4,3	EFNARC	√	680	650	665	EFNARC	√
HSSCC-RWCA-40%	4,5	2005	√	660	650	655	2005	√

Keterangan √ = Memenuhi syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian *L-Box*

Nama Benda Uji	h <sub>2</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub>	Syarat	Kesimpulan
HSSCC-RWCA-0%	9	9	1		Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-20%	9	9	1	0,8-1	Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-30%	9	10	0,9	EFNARC 2005	Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-40%	9	11	0,82		Memenuhi syarat

Tabel 5. Hasil Pengujian *V-Funnel*

Nama Benda Uji	<i>V-Funnel</i> (detik)	Syarat	Kesimpulan
HSSCC-RWCA-0%	9	6-25 detik EFNARC 2005	Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-20%	10		Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-30%	11		Memenuhi syarat
HSSCC-RWCA-40%	22		Memenuhi syarat

Berdasarkan data pada Tabel 3 – Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa substitusi metakaolin 12,5% dari berat semen dan substitusi limbah pecahan keramik sebagai agregat kasar dengan kadar 20%, 30%, dan 40% dari berat total agregat kasar alami telah memenuhi syarat sebagai beton HSSCC mengacu pada EFNARC 2005.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton mengutip dari penelitian yang dilakukan oleh Adiastra, 2022. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Nama Benda Uji		Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata	Kesimpulan
HSSCC-RWCA-0%	A	41,90	41,71	Memenuhi syarat
	B	41,33		
	C	41,90		
HSSCC-RWCA-20%	A	61,15	63,03	Memenuhi syarat
	B	62,85		
	C	65,11		
HSSCC-RWCA-30%	A	53,79	52,65	Memenuhi syarat
	B	50,96		
	C	53,22		
HSSCC-RWCA-40%	A	42,75	42,37	Memenuhi syarat
	B	42,46		
	C	41,90		

Berdasarkan Tabel 6. Di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton pada penelitian ini telah memenuhi syarat nilai kuat tekan beton sesuai dengan standar beton mutu tinggi yaitu lebih dari 41,4 Mpa.

### Hasil Pengujian Susut Kering

Rekapitulasi hasil uji susut kering pada beton HSSCC dengan metakaolin dan variasi limbah pecahan keramik dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut ini.

Tabel 7. Hasil Rata-rata Pengujian Susut Kering HSSCC Metakaolin dengan Variasi Limbah Pecahan Keramik

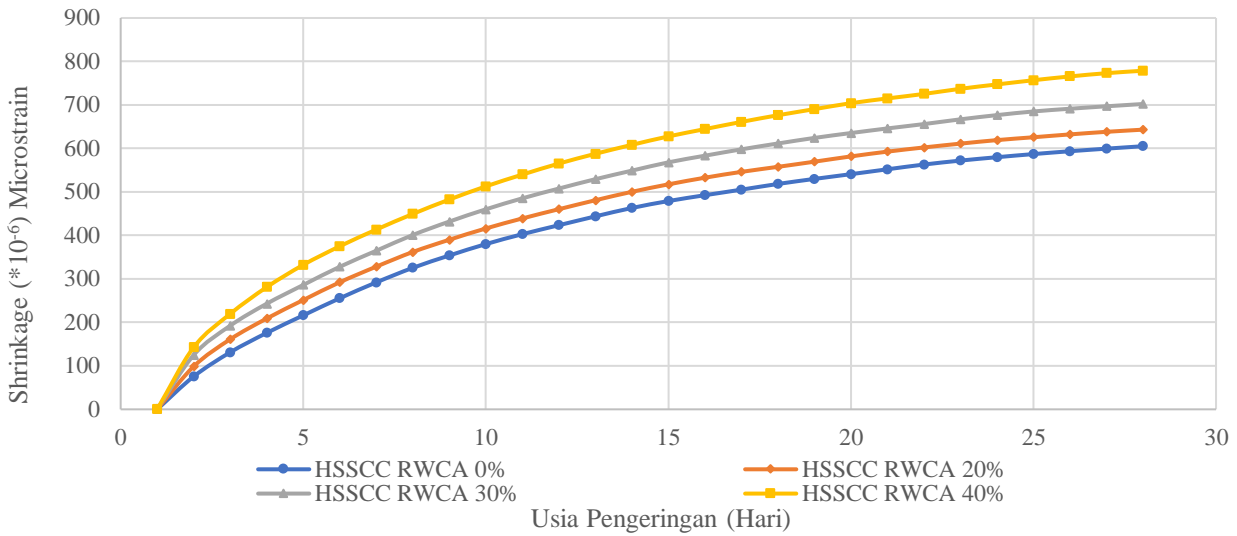
Hari Ke-	HSSCC-RWCA-0%	HSSCC-RWCA-20%	HSSCC-RWCA-30%	HSSCC-RWCA-40%
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	75,57	98,67	124,90	142,70
3	131,15	161,12	192,35	219,51
4	175,80	208,90	242,94	281,02
5	216,08	251,36	286,03	332,23
6	255,43	292,27	327,87	375,01
7	291,96	328,18	364,72	413,42
8	325,37	361,90	400,94	449,33
9	353,79	390,00	431,85	482,43
10	380,02	415,92	459,95	512,71
11	402,81	439,03	485,25	539,88
12	423,42	460,26	507,73	565,17
13	443,72	480,87	529,27	587,65
14	463,08	500,23	548,95	608,26
15	479,00	517,40	567,99	627,62
16	492,43	532,70	583,29	644,48
17	505,23	546,13	597,97	661,03
18	518,35	557,68	611,40	676,33

Hari Ke-	HSSCC-RWCA-0%	HSSCC-RWCA-20%	HSSCC-RWCA-30%	HSSCC-RWCA-40%
19	529,90	569,55	624,20	690,38
20	540,83	581,72	635,44	704,12
21	552,07	592,65	646,06	715,05
22	563,00	602,33	656,05	725,36
23	572,05	611,08	666,98	737,22
24	579,86	619,19	676,66	747,21
25	587,04	625,75	685,09	756,89
26	593,60	632,31	691,33	765,64
27	599,53	638,24	696,96	773,13
28	605,15	643,24	702,26	778,75

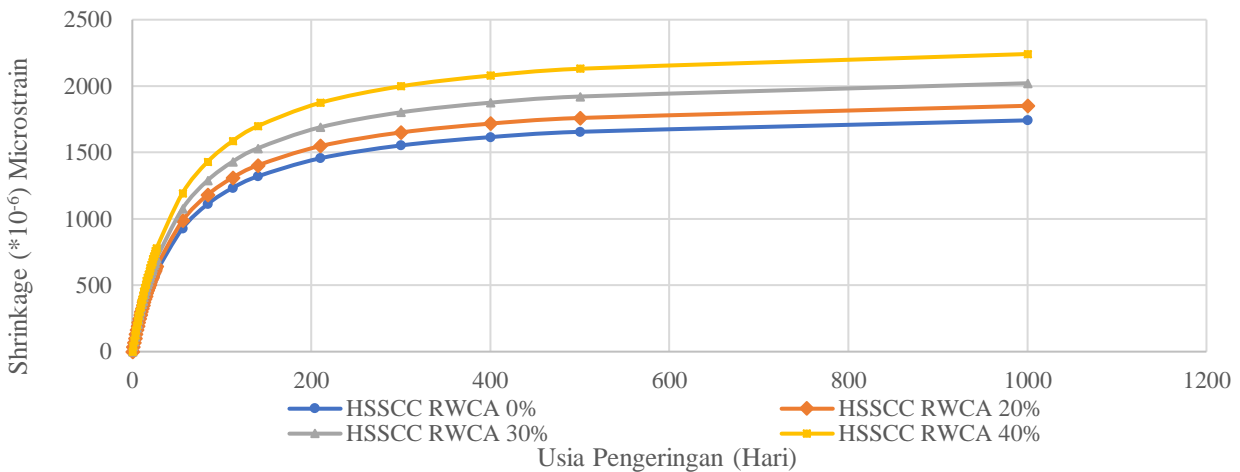
Tabel 8. Hasil Perhitungan Prediksi Susut Kering HSSCC Metakaolin dengan Variasi *Silica Fume*

Hari Ke-	HSSCC-RWCA-0%	HSSCC-RWCA-20%	HSSCC-RWCA-30%	HSSCC-RWCA-40%
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	32,82	34,88	38,09	42,23
3	64,49	68,55	74,84	82,99
4	95,06	101,05	110,32	122,33
5	124,60	132,44	144,60	160,35
6	153,16	162,79	177,73	197,09
7	180,77	192,15	209,78	232,63
8	207,50	220,56	240,80	267,03
9	233,38	248,07	270,83	300,33
10	258,45	274,72	299,93	332,59
11	282,75	300,54	328,12	363,86
12	306,31	325,59	355,47	394,18
13	329,17	349,89	381,99	423,60
14	351,36	373,47	407,74	452,15
15	372,90	396,37	432,74	479,87
16	393,83	418,62	457,03	506,81
17	414,17	440,23	480,63	532,98
18	433,94	461,25	503,58	558,42
19	453,17	481,69	525,90	583,17
20	471,89	501,58	547,61	607,25
21	490,10	520,94	568,75	630,69
22	507,83	539,79	589,33	653,51
23	525,11	558,15	609,37	675,74
24	541,94	576,04	628,90	697,40
25	558,34	593,48	647,94	718,51
26	574,33	610,48	666,50	739,09
27	589,93	627,06	684,60	759,17
28	605,15	643,24	702,26	778,75
56	927,21	985,57	1076,01	1193,20
84	1110,66	1180,55	1288,89	1429,26
112	1232,58	1310,16	1430,38	1586,17
140	1319,50	1402,54	1531,24	1698,02
210	1456,43	1548,09	1690,14	1874,22
300	1553,13	1650,88	1802,37	1998,67
400	1615,71	1717,40	1874,99	2079,20
500	1655,74	1759,94	1921,44	2130,71
1000	1742,06	1851,69	2021,61	2241,79

Berdasarkan data pada Tabel 7 – Tabel 8 di atas, dihasilkan grafik hubungan antara nilai susut kering dengan umur pengeringan pada setiap substitusi kadar limbah pecahan keramik pada Gambar 1 dan grafik prediksi susut kering terhadap umur pengeringan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 1. Grafik Hubungan Susut Kering Beton Metakaolin HSSCC dengan Variasi *Silica Fume* Terhadap Umur Pengeringan



Gambar 2. Grafik Prediksi Susut Kering Beton Metakaolin HSSCC dengan Variasi *Silica Fume* Terhadap Umur Pengeringan

Berdasarkan Gambar 1 di atas terlihat bahwa benda uji dengan tanpa bahan tambah limbah pecahan keramik memiliki nilai susut kering paling kecil dibandingkan dengan nilai susut kering benda uji dengan bahan tambah limbah pecahan keramik. Hasil penelitian ini serasi dengan pernyataan Ray (2021) bahwa penambahan limbah pecahan keramik mempengaruhi susut pada beton. Semakin besar persentase limbah pecahan keramik yang ditambahkan, maka semakin besar susut pada penelitian ini. Hal ini sesuai dengan pernyataan Meena (2022) bahwa limbah pecahan keramik memiliki penyerapan air yang lebih besar dibandingkan dengan agregat kasar yang biasa digunakan yaitu kerikil yang menyebabkan beton memiliki lebih banyak rongga di dalamnya. Oleh karena itu beton akan lebih banyak mengandung air sehingga mempengaruhi susut yang terjadi.

Berdasarkan Gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa pola susut kering yang terjadi di masa yang akan datang cenderung konstan setelah beton mencapai umur 3 bulan lebih, ini sesuai dengan pernyataan Abdalhmied (2019) pada penelitiannya yang menyatakan bahwa susut kering akan cenderung konstan setelah 3 bulan pengeringan.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil pengujian, pengolahan data, dan evaluasi yang telah dilakukan pada kajian nilai susut kering beton mutu tinggi memadat mandiri dengan bahan tambah metakaolin 12,5% dan variasi limbah pecahan keramik alah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian parameter SCC yang telah dilakukan pada beton segar dan uji kuat tekan pada beton usia 28 hari, penambahan metakaolin 12,5% dan variasi limbah pecahan keramik pada campuran beton memenuhi syarat sebagai beton mutu tinggi memadat mandiri. Penambahan metakaolin 12,5% dan variasi limbah pecahan keramik kadar 20%, 30%, dan 40% dari berat agregat kasar memenuhi syarat parameter filling ability, passing ability, dan segregation resistance berdasarkan standar EFNARC 2005 dan memiliki nilai kuat tekan diatas 41,4 MPa.
2. Semakin tinggi penambahan kadar limbah pecahan keramik pada beton maka semakin tinggi nilai susut kering yang diperoleh dalam penelitian ini. Nilai susut kering benda uji beton mutu tinggi memadat mandiri metakaolin 12,5% dan variasi limbah pecahan keramik 0%, 20%, 30%, dan 40% pada usia 28 hari berturut-turut adalah 605,152; 643,238; 702,264; dan 778,750.

## REKOMENDASI

Agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik maka perlu dilakukan beberapa koreksi. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Memastikan alat uji yang akan digunakan dapat bekerja dengan baik dan sebagaimana mestinya.
2. Menambahkan metode prediksi lain dalam prediksi susut kering untuk mengetahui metode yang terbaik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan artikel ini sampai selesai tanpa ada halangan yang berarti. Selanjutnya kepada teman kelompok HSSCC RWCA yang telah memberikan segala daya dan upaya dalam menyelesaikan penelitian ini.

## REFERENSI

- Abdalmid, J. M., Ashour, A. F., & Sheehan, T., 2019, "Long-Term Drying Shrinkage of Self-Compacting Concrete: Experimental and Analytical Investigations", *Construction and Building Materials*. Vol. 202, pp. 825–837.
- Adiasta, B. H., 2022, "Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Metakaolin 12,5% dan Variasi Limbah Pecahan Keramik", Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Amran, M., Debbarma, S. and Ozbakkaloglu, T., 2021. Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. *Construction and Building Materials*, 270, p.121857.
- Anderson, D. J., Smith, S. T., & Au, F. T. K., 2016, "Mechanical Properties of Concrete Utilising Waste Ceramic as Coarse Aggregate", *Construction and Building Materials*. Vol. 117, pp. 20–28.
- Anonim., 2005, "European Federation of National Association Representing Concrete Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete (EFNARC) 2005", *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*.
- Anonim., 1992, "ACI Committee 209 Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structure", American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Aslani, F., Ma, G., Wan, D.L.Y. and Muselin, G., 2018. Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules. *Journal of Cleaner Production*, 182, pp.553-566.
- Meena, R. V., Jain, J. K., Chouhan, H. S., & Beniwal, A. S., 2022, "Use of Waste Ceramics to Produce Sustainable Con-Crete: A Review. *Cleaner Materials*, 4, 100085.
- Nanthagopalan, P. and Santhanam, M., 2011. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete produced with manufactured sand. *Cement and concrete composites*, 33(3), pp.353-358.
- Ofuyatan, O.M., Adeniyi, A.G., Ijie, D., Ighalo, J.O. and Oluwafemi, J., 2020. Development of high-performance self compacting concrete using eggshell powder and blast furnace slag as partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 256, p.119403.
- Palankar, N., Shankar, A.R. and Mithun, B.M., 2016. Durability studies on eco-friendly concrete mixes incorporating steel slag as coarse aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 129, pp.437-448.
- Parra, C., Valcuende, M. and Gómez, F., 2011. Splitting tensile strength and modulus of elasticity of self-compacting concrete. *Construction and Building materials*, 25(1), pp.201-207.

- Ray, S., Haque, M., Soumic, S. A., Mita, A. F., Rahman, M. M., & Tanmoy, B. B., 2021, "Use of Ceramic Wastes As Aggregates in Concrete Production: A Review," *Journal of Building Engineering*, Vol. 43, 102567.
- Saranya, P., Nagarajan, P. and Shashikala, A.P., 2018, March. Eco-friendly GGBS concrete: a state-of-the-art review. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 330, No. 1, p. 012057). IOP Publishing.