

KAJIAN KUAT TARIK LANGSUNG DAN KUAT LEKAT PADA BETON MUTU TINGGI MEMADAT MANDIRI DENGAN VARIASI KADAR METAKAOLIN

Wibowo¹⁾, Sunarmasto²⁾, Huesca Rashad³⁾

^{1),2)} Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

³⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta 57126, Telp (0271) 647069, Fax 662118

Email : huescaras@student.uns.ac.id

Abstract

The quality of High Strength Self Compacting Concrete keep getting better with many kinds of improvements, including by adding some pozzolanic admixture in concrete mixture including the pozzolanic admixture used in this research which is metakaolin. The purpose of this research focused on studying the effect of metakaolin addition on the parameter of SCC, direct tensile strength, and bond strength of HSSCC. This research use experimental method. The workability tests in this research include slump flow test for filling ability, V-funnel test for passing ability, and L-box test for segregation resistance. The direct tensile strength test and bond strength test is conducted by using Universal Testing Machine by holding and pulling the specimens until it reaches the maximum load. This study shows that metakaolin decreases the workability of the fresh concretes, but value of these concrete tests in this research still meets the standard of self compacting concrete. Both the direct tensile strength and bond strength of 28 days old concrete decreases by the addition of metakaolin with the lowest of both value is the concrete with metakaolin composition of 22,5%.

Keywords: bond strength, direct tensile strength, High Strength Self Compacting Concrete, metakaolin, workability.

Abstrak

Kualitas beton mutu tinggi memadat mandiri terus meningkat dengan berbagai inovasi, termasuk dengan penambahan bahan tambah yang bersifat pozolan pada campuran beton termasuk bahan tambah pozolan yang digunakan pada penelitian ini yakni metakaolin. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin terhadap parameter SCC, nilai kuat tarik langsung, dan kuat lekat beton HSSCC. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Pengujian *workability* pada penelitian ini meliputi uji *slump flow* untuk mengukur *filling ability*, uji V-funnel untuk mengukur *passing ability*, dan uji L-box untuk mengukur segregation resistance. Pengujian kuat tarik langsung, dan kuat lekat dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan menahan dan menarik benda uji mencapai beban maksimum. Penelitian ini menunjukkan bahwa metakaolin menurunkan *workability* beton segar, namun nilai dari pengujian beton ini masih memenuhi standar beton memadat mandiri. Baik kuat tarik langsung maupun kuat lekat beton mengalami penurunan seiring penambahan kadar metakaolin dengan nilai terendah pada beton dengan kadar metakaolin 22,5%.

Kata Kunci : beton mutu tinggi memadat mandiri, kuat lekat, kuat tarik langsung, metakaolin, *workability*.

PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu material yang sangat umum digunakan di sektor konstruksi karena memiliki bahan susun yang relatif mudah untuk didapatkan, bermutu tinggi, dan mudah dikerjakan. Banyaknya penggunaan beton mendorong berbagai inovasi yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas beton. Inovasi yang telah dikembangkan bermacam-macam, salah satunya ialah *High Strength Self Compacting Concrete* (HSSCC).

Mengacu pada penelitian sebelumnya, penggunaan metakaolin sebagai bahan pengganti semen pada beton dilakukan karena sifatnya sebagai pozzolan, yakni akan bereaksi dengan proses hidrasi semen dan partikel berukuran kecil sebagai pengisi pori-pori beton yang dapat meningkatkan kualitas beton, mempercepat proses hidrasi pada beton dan mengurangi kelemahan yang ada pada beton konvensional.

Beton pada umumnya memiliki kuat tekan yang tinggi, namun kuat tarik yang rendah. Kuat tarik beton yang rendah dapat dibantu dengan baja tulangan yang mempunyai daya tarik lebih baik daripada beton. Beton yang sudah ditambahkan baja tulangan ini dapat menahan momen pada bagian penampang beton yang biasanya retak akibat ketidakmampuan beton menahan kuat tarik yang berlebih. Apabila beton menggunakan tulangan, kedua komponen tersebut harus saling mengikat dan melekat. Hal ini dipengaruhi oleh kuat lekat antara beton dengan tulangan, yang dapat memastikan kedua elemen tersebut bekerja dengan sinergis.

Penghitungan desain beton biasanya berfokus pada kuat tekan beton tanpa terlalu memperhatikan kuat tarik dan kuat lekat yang sebenarnya merupakan hal penting yang dapat mempengaruhi ukuran beton dan besar retakan yang terjadi. Dengan penambahan metakaolin sebagai pengganti semen diharapkan dapat mengatasi masalah kompleksitas beton yang ada di kalangan konstruksi, meningkatkan mutu beton (kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lekat), meningkatkan keawetan beton, dan mengurangi porositas dan permeabilitas beton.

Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*)

Menurut SNI 03-6468-2000, beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan, yakni lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa. Faktor-faktor yang menentukan dalam upaya pembuatan beton mutu tinggi diantaranya ialah pemilihan bahan, rasio air dengan bahan bersifat semen, kelecakan, dan pengukuran kekuatan.

Beton Memadat Mandiri (*Self Compacting Concrete*)

Beton memadat mandiri merupakan beton yang mampu mengalir dengan beratnya sendiri dan tidak memerlukan proses penggetaran seperti pada beton normal karena mampu memenuhi atau mengisi bekisting dan mencapai kepadatan tertingginya. Keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan SCC antara lain dapat mengurangi lamanya proses konstruksi dan upah pekerja, pemadatan dan penggetaran beton yang optimum, serta dapat mengurangi kebisingan yang dapat mengganggu lingkungan sekitarnya. Komposisi material SCC sendiri terdiri dari semen, agregat kasar, pasir, bahan pengisi (*filler*), air dan *superplasticizer*. Dalam pembuatan SCC ini, penggunaan *filler* dapat menggunakan *fly ash*, serbuk batu kapur, *silica fume* atau bahan lainnya yang mempunyai sifat *pozzolan*, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air sehingga akan mengurangi porositas yang terjadi pada beton (Herbudiman dan Siregar, 2013).

Metakaolin

Metakaolin merupakan hasil pembakaran (kalsinasi) dari kaolin pada suhu 4500C- 9000C yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dari *silica fume* dan banyak mengandung SiO₂ dan Al₂O₃ (*pozzolan*) yang merupakan unsur utama penyusun semen sehingga digunakan sebagai bahan pengganti semen (Sambowo, 2002).

Kuat Tarik Langsung

Kuat tarik adalah ukuran kuat beton yang diakibatkan oleh suatu gaya yang cenderung memisahkan sebagian beton akibat tarikan. Kuat tarik beton berkisar 1/18 dari kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar 1/20 sesudahnya. Kuat tarik juga merupakan bagian penting didalam menahan retakan akibat perubahan kadar air dan suhu. Pengujian kuat tarik biasanya diadakan untuk pembuatan konstruksi jalan raya dan lapangan terbang (Murdock dan Brook, 1991).

Kuat tarik beton bisa didapatkan dengan beberapa pengujian, salah satunya ialah dengan uji kuat tarik langsung. Pengujian kuat tarik langsung dilakukan dengan membuat benda uji dengan modifikasi berupa grip dari baja pada kedua ujungnya. Benda uji akan ditarik dari kedua ujung lewat grip yang ada pada bagian luar beton. Nilai kuat tarik yang diperoleh didapatkan berdasarkan hasil penghitungan dari besar beban tarik maksimum (N) dibagi dengan luas penampang yang terkecil (mm²).

Penelitian tentang kuat tarik langsung jarang dilakukan karena persiapan dan pelaksanaan pengujian sangat sulit. Faktor utama permasalahan pengujian kuat tarik langsung ialah kedua ujung benda uji yang biasa disebut sebagai grip. Kuat tarik langsung beton biasanya dikonversikan dari hasil uji kuat tarik belah atau uji kuat lentur, namun hasil konversi ini tidak dapat digunakan untuk beton SCC, meskipun sebenarnya kuat tarik langsung mempengaruhi defleksi, retakan, sobekan, dan kelecakan dari beton SCC (Alhussainy et al, 2016).

Kuat Lekat

Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara baja tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara baja tulangan dan beton (Winter dan Salmon, 1993).

Kuat lekat antara beton dan baja bisa didapatkan dengan berbagai jenis pengujian yang berbeda, diantaranya ialah dengan melakukan *beam test*, *embedded rod test* dan juga metode pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini, yakni *pull-out test* yang akan dilakukan pada benda uji beton silinder yang memiliki tulangan berupa baja.

Metode *pull-out test* dapat memberikan perbedaan yang signifikan antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanamannya (*embedment length*), akan tetapi hasil dari pengujian ini belum memberikan tegangan lekat sesungguhnya pada struktur rangka. Metode *pull-out test* menghasilkan beton yang mengalami tekan dan baja yang mengalami tarik, dimana beton dan baja di sekelilingnya mengalami tegangan yang sama (Nawi, 1998).

METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini ialah metode eksperimental untuk mengkaji kuat tarik langsung, kuat lekat, dan *workability* beton mutu tinggi memadat mandiri. Pengujian yang dilakukan untuk *workability* ialah *Slump flow test*, *V-funnel test*, dan *L-box test* pada beton segar. Pengujian kuat tarik langsung dan kuat lekat dilakukan terhadap beton berumur 28 hari dengan bentuk berupa balok 10x10x50 cm untuk uji kuat tarik langsung dan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 25 cm untuk uji kuat lekat. Komposisi metakaolin yang digunakan ialah 0%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; dan 22,5%. Jumlah benda uji tiap kadar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama dan Jumlah Benda Uji

Kadar Metakaolin	Nama Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah
Kuat Tarik Langsung			
0%	HSSCC-KT-MK 0	28	3
12,5%	HSSCC-KT-MK 12,5	28	3
15%	HSSCC-KT-MK 15	28	3
17,5%	HSSCC-KT-MK 17,5	28	3
20%	HSSCC-KT-MK 20	28	3
22,5%	HSSCC-KT-MK 22,5	28	3
Kuat Lekat			
0%	HSSCC-KL-MK 0	28	3
12,5%	HSSCC-KL-MK 12,5	28	3
15%	HSSCC-KL-MK 15	28	3
17,5%	HSSCC-KL-MK 17,5	28	3
20%	HSSCC-KL-MK 20	28	3
22,5%	HSSCC-KL-MK 22,5	28	3
TOTAL BENDA UJI			36

Mix Design

Rancangan campuran adukan beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi komposisi metakaolin dibuat berdasarkan EFNARC 2002. Perbandingan agregat halus dan kasar yang digunakan ialah 51% : 49%, total berat *binder* sebesar 600 kg/m³, faktor air semen yang digunakan adalah 0,31 dan kadar optimum *superplasticizer* sebanyak 1,9% dari berat *binder*. Rekapitulasi rancangan campuran adukan beton yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Rancangan Campuran Adukan Beton (*Mix Design* Beton)

Kadar Metakaolin	Agregat Halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Metakaolin (Kg/m ³)	Superplasticizer (lt/m ³)	Air (lt/m ³)
0%	821,98	796,06	600,00	0,00	11,40	186,00
12,5%	815,96	790,23	525,00	75,00	11,40	186,00
15%	814,76	789,06	510,00	90,00	11,40	186,00
17,5%	813,55	787,90	495,00	105,00	11,40	186,00
20%	812,35	786,73	480,00	120,00	11,40	186,00
22,5%	811,15	785,57	465,00	135,00	11,40	186,00

Pengujian Beton Segar

Pengujian pada beton segar dilakukan untuk memastikan beton memenuhi standar sebagai beton memadat mandiri, serta untuk mengetahui pengaruh penambahan kadar metakaolin terhadap *workability* beton. Parameter beton memadat mandiri pada penelitian ini adalah *filling ability*, *passing ability* dan *segregation resistance* yang diuji dengan pengujian *slump flow*, pengujian *V-funnel*, dan pengujian *L-box* yang dilakukan berdasarkan ketentuan EFNARC 2002.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk memastikan beton memenuhi standar sebagai beton mutu tinggi. Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 6468-2000 dengan ketentuan kuat tekan beton harus melebihi 41,4 MPa.

Pengujian Kuat Tarik Langsung

Pengujian kuat tarik langsung dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan menarik beton melalui salah satu *grip* hingga beton atau *grip* mengalami kegagalan. Nilai kuat tarik langsung dapat dihitung dengan Persamaan [1].

$$f_{ct} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan :

- f_{ct} = kuat tarik beton (MPa)
- P = beban tarik (N)
- A = luas bidang (mm²)

Pengujian Kuat Lekat

Pengujian kuat lekat dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan menarik beton melalui baja tulangan hingga beton atau baja tulangan mengalami kegagalan. Nilai kuat lekat dapat dihitung dengan Persamaan [2].

$$f'_{b} = \frac{P}{L_d \times \pi \times D_b} \dots\dots\dots [2]$$

keterangan :

- f'_{b} = kuat lekat beton (MPa)
- P = beban tarik (N)
- L_d = panjang penyaluran (mm)
- D_b = diameter baja (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian beton segar pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3-5.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Slump flow*

Kadar Metakaolin	T ₅₀₀ Rerata (detik)	Syarat	Ket.	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D Rerata (mm)	Syarat	Ket.
0%	2,21	2 - 5 detik EFNARC 2002	V	750	760	755	650-800 mm EFNARC 2002	V
12,5%	2,53		V	740	760	750		V
15%	2,73		V	740	745	742,5		V
17,5%	2,89		V	730	750	740		V
20%	3,14		V	730	740	735		V
22,5%	3,47		V	700	730	715		V

Keterangan : V = memenuhi syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian *V-funnel*

Kadar Metakaolin	Waktu (detik)	Syarat	Ket.
0%	10,31	6-12 detik EFNARC 2002	V
12,5%	10,51		V
15%	11,27		V
17,5%	12		V
20%	12,26		X
22,5%	14		X

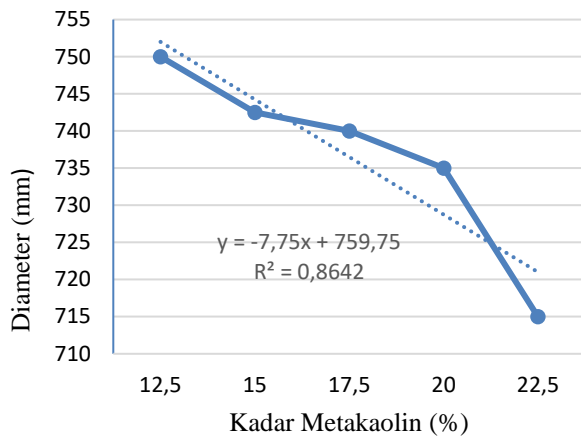
Keterangan : V = memenuhi syarat
X = tidak memenuhi syarat

Tabel 5. Hasil Pengujian *L-box*

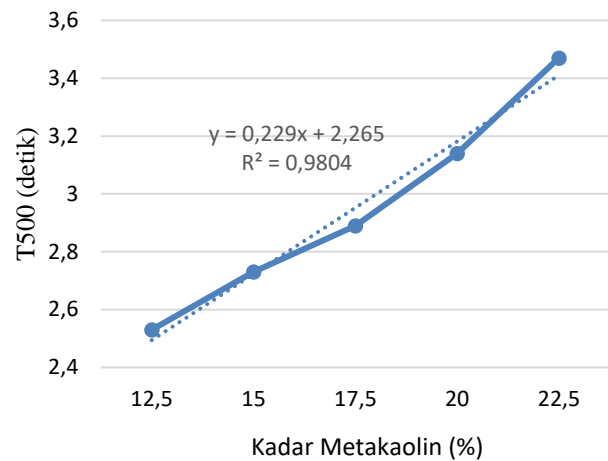
Kadar Metakaolin	h ₂ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ /h ₁	Syarat	Ket.
0%	9	9,5	0,947	0,8-1 detik EFNARC 2002	V
12,5%	8,5	9	0,944		V
15%	8,5	9	0,944		V
17,5%	8	8,5	0,941		V
20%	8	9,5	0,842		V
22,5%	8	9,5	0,842		V

Keterangan : V = memenuhi syarat

Berdasarkan Tabel 3-5, semua jenis kadar memenuhi persyaratan kecuali kadar 20% dan 22,5% yang pengujian *V-funnel* nya membutuhkan waktu lebih dari 12 detik. Pengaruh penambahan kadar metakaolin pada *workability* beton dapat lebih mudah dipahami dengan mengamati grafik hubungan parameter SCC dengan variasi komposisi metakaolin yang dibuat berdasarkan Tabel 3-5, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 1-4.

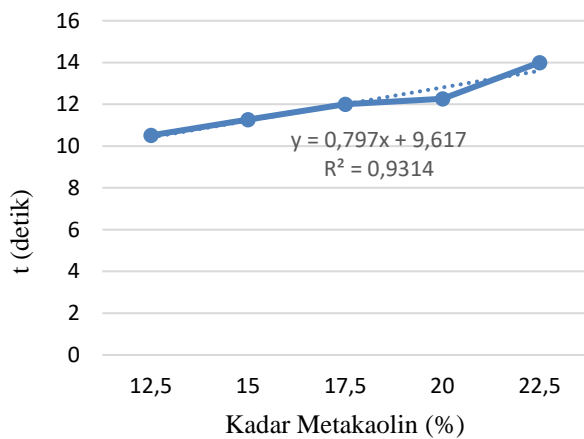


Gambar 1. Grafik Diameter Rerata *Slump flow*

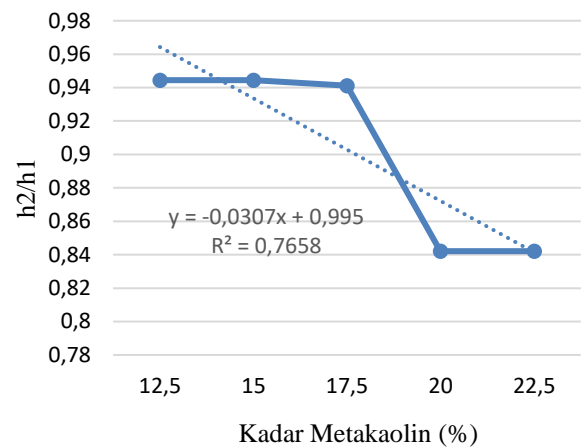


Gambar 2. Grafik Waktu Alir *Slump flow*

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa penambahan kadar metakaolin menurunkan diameter *Slump flow* dan pada Gambar 2, penambahan kadar metakaolin memperlambat waktu alir *Slump flow*.



Gambar 3. Grafik Nilai *V-Funnel*



Gambar 4. Grafik Nilai *L-box*

Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa penambahan kadar metakaolin memperlambat waktu alir *V-funnel*, dan pada Gambar 4, penambahan kadar metakaolin menurunkan h_2/h_1 *L-box*.

Dari semua grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar metakaolin menurunkan *workability* beton.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kadar Metakaolin	Kuat Tekan (MPa)	Syarat	Keterangan
0%	46,798	Diatas 41,4 MPa SNI 6468-2000	Memenuhi Syarat
12,5%	50,094		Memenuhi Syarat
15%	51,601		Memenuhi Syarat
17,5%	59,699		Memenuhi Syarat
20%	51,977		Memenuhi Syarat
22,5%	45,198		Memenuhi Syarat

Berdasarkan Tabel 6, semua jenis kadar metakaolin memenuhi syarat SNI 6468-2000 sebagai beton mutu tinggi karena memiliki kuat tekan diatas 41,4 MPa.

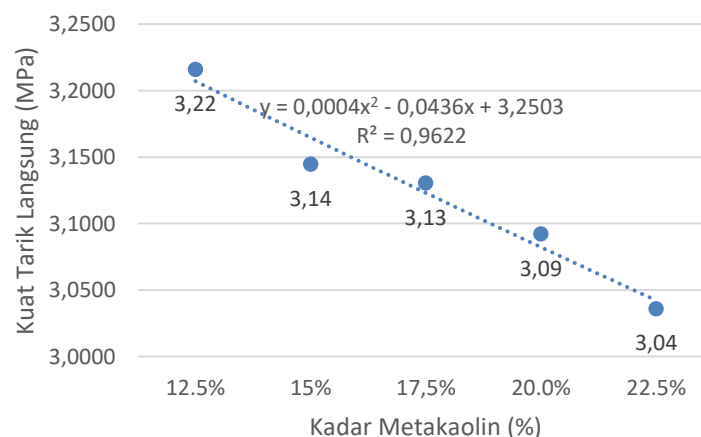
Hasil Pengujian Kuat Tarik Langsung Beton

Pengujian kuat tarik langsung menghasilkan beban dalam bentuk Newton yang kemudian dihitung dengan dimensi benda uji nya berdasarkan persamaan yang sudah ditetapkan sehingga menghasilkan kuat tarik langsung dalam bentuk MPa, kemudian dihitung perbedaannya dengan kadar lainnya. Hasil pengujian kuat tarik langsung beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Langsung Beton

Nama Benda Uji	Kode Benda Uji	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik Langsung (MPa)	Kuat Tarik Langsung Rerata (MPa)	Kenaikan (%)
HSSCC-KT-MK 0	A	97	97	20290	3.49	3.52	-
	B	60	100	21120	3.52		
	C	61	97	21050	3.56		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	60	100	18070	3.01	3.22	-8.67
	B	59	102	21520	3.58		
	C	62	103	19540	3.06		
HSSCC-KT-MK 0	A	59	98	16690	2.89	3.14	-10.69
	B	58	100	19200	3.31		
	C	61	99	19550	3.24		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	62	102	20220	3.20	3.13	-11.10
	B	60	102	19310	3.16		
	C	60	99	18050	3.04		
HSSCC-KT-MK 0	A	62	99	17520	2.85	3.09	-12.18
	B	59	99	19980	3.42		
	C	60	99	17830	3.00		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	58	100	17830	3.07	3.04	-13.78
	B	61	104	20070	3.16		
	C	64	98	18000	2.87		

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa kuat tarik langsung dari beton tanpa metakaolin mengalami penurunan terus menerus terhadap penambahan kadar metakaolin yang ditetapkan, untuk lebih jelasnya dibuat grafik hubungan kuat tarik langsung dengan variasi komposisi metakaolin berdasarkan Tabel 7. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kuat Tarik Langsung

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa kuat tarik langsung beton menurun dengan adanya penggantian berat semen dengan metakaolin kadar 12,5% ; 15% ; 17,5 ; 0% ; dan 22,5% dengan nilai berturut-turut 3,22 MPa ; 3,14 MPa ; 3,13 MPa ; 3,09 MPa ; dan 3,04 MPa.

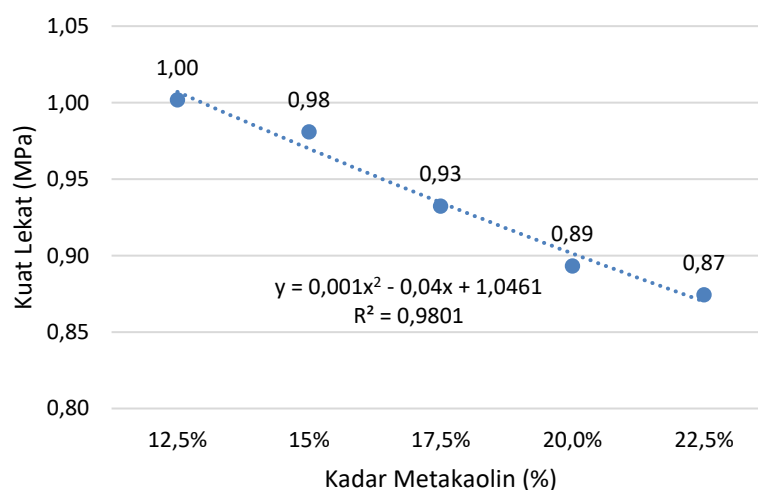
Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton

Pengujian kuat lekat menghasilkan beban dalam bentuk Newton yang kemudian dihitung dengan panjang penyaluran dan diameter bajaj yang digunakan berdasarkan persamaan yang sudah ditetapkan sehingga menghasilkan kuat lekat dalam bentuk MPa, kemudian dihitung perbedaannya dengan kadar lainnya. Hasil pengujian kuat lekat beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton

Nama Benda Uji	Kode Benda Uji	Panjang Penyaluran (mm)	Diameter Baja (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Lekat (MPa)	Kuat Lekat Rerata (MPa)	Kenaikan (%)
HSSCC-KT-MK 0	A	248	10	9022.44	1.16	1.16	-
	B	249	10	10395.4	1.33		
	C	250	10	7845.6	1.00		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	251	10	7649.46	0.97	1.00	-13.78
	B	251	10	7845.6	0.99		
	C	252	10	8237.88	1.04		
HSSCC-KT-MK 0	A	251	10	7845.6	0.99	0.98	-15.58
	B	250	10	7845.6	1.00		
	C	250	10	7453.32	0.95		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	250	10	7061.04	0.90	0.93	-19.75
	B	249	10	7649.46	0.98		
	C	251	10	7257.18	0.92		
HSSCC-KT-MK 0	A	249	10	6864.9	0.88	0.89	-23.12
	B	248	10	7453.32	0.96		
	C	251	10	6668.76	0.85		
HSSCC-KT-MK 12,5	A	251	10	7257.18	0.92	0.87	-24.75
	B	254	10	6668.76	0.84		
	C	252	10	6864.9	0.87		

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa kuat lekat dari beton tanpa metakaolin mengalami penurunan terus menerus terhadap penambahan kadar metakaolin yang ditetapkan, untuk lebih jelasnya dibuat grafik hubungan kuat lekat dengan variasi komposisi metakaolin berdasarkan Tabel 8. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Kuat Lekat

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat bahwa kuat lekat beton menurun dengan adanya penggantian berat semen dengan metakaolin kadar 12,5% ; 15% ; 17,5 ; 0% ; dan 22,5% dengan nilai berturut-turut 1,00 MPa ; 0,98 MPa ; 0,93 MPa ; 0,89 MPa ; dan 0,87 MPa.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil pengujian, pengolahan data, dan evaluasi yang telah dilakukan dengan kajian kuat lekan, kuat tarik langsung, dan kuat lekat beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi komposisi metakaolin. Kesimpulan-kesimpulan tersebut ialah:

1. Semua beton yang dibuat pada penelitian ini memenuhi standar *High Strength Concrete* yakni diatas 41,4 MPa, baik pada beton tanpa metakaolin maupun pada beton dengan metakaolin. Penambahan kadar metakaolin pada beton yang digunakan pada penelitian ini meningkatkan kuat tekan dari beton-beton tersebut. Kuat tekan beton maksimum yang dicapai dengan penambahan kadar metakaolin pada penelitian ini ialah beton dengan penambahan kadar metakaolin sebesar 17,5% dengan nilai kuat tekan sebesar 59,699 MPa dengan persentase peningkatan sebesar 27,565% dari kuat tekan beton tanpa metakaolin.
2. Penambahan variasi metakaolin pada campuran beton mutu tinggi memadat mandiri yang digunakan pada penelitian ini menurunkan *workability* beton, namun semua beton yang tersebut tetap mempertahankan sifat *Self Compacting Concrete* nya karena baik beton tanpa metakaolin maupun yang menggunakan metakaolin memenuhi parameter *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance*.
3. Kuat tarik langsung beton pada penelitian ini menurun seiring penambahan kadar metakaolin. Nilai kuat tarik langsung beton maksimum didapat dari beton tanpa penambahan metakaolin dengan nilai kuat tarik langsung sebesar 3,52 MPa, kemudian menurun seiring penambahan kadar metakaolin hingga penambahan kadar 22,5% yang menghasilkan kuat tarik langsung terkecil, yakni sebesar 3,04 MPa. Kuat tarik langsung terkecil ini mengalami penurunan sebesar 13,78% dari beton tanpa metakaolin.
4. Kuat lekat antara beton dan tulangan pada penelitian ini menurun seiring penambahan kadar metakaolin. Nilai kuat lekat maksimum didapat dari beton tanpa penambahan metakaolin dengan nilai kuat lekat sebesar 1,16 MPa, kemudian menurun seiring penambahan kadar metakaolin hingga penambahan kadar 22,5% yang menghasilkan kuat tarik langsung terkecil, yakni sebesar 0,87 MPa. Kuat tarik langsung terkecil ini mengalami penurunan sebesar 24,75% dari beton tanpa metakaolin.

REKOMENDASI

Penelitian ini memerlukan beberapa perbaikan sehingga penelitian selanjutnya dapat berjalan dengan lebih baik. Saran-saran untuk membantu penelitian selanjutnya berjalan dengan lebih baik diantaranya ialah:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan benda uji yang lebih banyak dari penelitian ini sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat, serta sebagai cadangan bila ada benda uji yang mengalami kerusakan.
2. Melakukan penelitian dengan umur beton yang lebih lama dari 28 hari, seperti 56 hari dan 90 hari untuk melihat dan membandingkan reaksi pozzolanik yang bekerja dan memastikan umur beton yang optimal.

REFERENSI

- Alhussainy F. et al, 2016, "Direct Tensile Testing of Self-Compacting Concrete", University of Wollongong, Australia.
- Anonim, 2000, "SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2002, EFNARC "Specification and Guidelines For Self-Compacting Concrete".
- Herbudiman B. and Siregar S.E., 2013, "Kajian Interval Rasio Air-Powder Beton Self-Compacting Terkait Kinerja Kekuatan dan Flow", Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Murdock L.J. and Brook K.M., 1991, "Bahan dan Praktek Beton", Erlangga, Jakarta.
- Nawi E.G., 1998, "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar", Refika Aditama, Bandung.
- Sambowo K.A., 2002, "Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin-PFA Concrete", University of Sheffield, Inggris.
- Winter G. dan Salmon C.G., 1993, "Perencanaan Struktur Beton Bertulang", Pradnya Paramita, Jakarta.