

# KAJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI MEMADAT MANDIRI DENGAN VARIASI BAHAN TAMBAH METAKAOLIN DAN *SUPERPLASTICIZER*

Wibowo<sup>1)</sup>, Akhmad Fauzi Al Afif<sup>2)</sup>, Supardi<sup>3)</sup>

<sup>1),3)</sup>Staff Pengajar Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

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

Email : [akhmad.fauzi06@gmail.com](mailto:akhmad.fauzi06@gmail.com)

## Abstract

*High strength self-compacting concrete (HSSCC) is concrete which has high strength that able to self-compact without tool. With metakaolin (MK) as additive then will increase strength quality of the concrete. Research begins with the collection of materials, data connection, aggregate testing, engineering processes, the manufacture of specimens, sample testing, and drawing conclusions. Addition of metakaolin variation as additive of concrete was set at 12.5%, 17.5%, 22.5%, dan 27.5% from cement weight, added variation superplasticizer sika viscocrete 1003 as much as 1.5%, 1.7%, and 1.9% of the cement weight. Sample made cylinder with dimension 15×30cm and 28 days old. This research is expected to know the effect of the addition of metakaolin to the compressive strength of concrete, to know the effect of adding superplasticizer to the compressive strength of concrete, and to know the maximum compressive strength of the variation of metakaolin and superplasticizer. Maximum compressive strength was obtained on percentage of metakaolin 17.5% and superplasticizer 1.5% equal to 78.77 MPa. The addition of metakaolin reduces the workability of concrete. The addition of metakaolin at 12.5% and 17.5% increased the compressive strength of 58.84 MPa and 69.59 MPa (mean of superplasticizer variation), in the 22.5% and 27.5% variations decreased by 50.24 MPa and 46.03 MPa. The optimum compressive strength was in the variation of metakaolin 17.02% by 78.96 MPa with the addition of 1.5% superplasticizer.*

**Keywords:** *high strength self-compacting concrete (HSSCC), metakaolin, compressive strength, superplasticizer.*

## Abstrak

Beton mutu tinggi memadat mandiri memiliki adalah beton dengan kuat tekan tinggi yang dapat memadat mandiri tanpa bantuan alat pemadat. Dengan bahan *additive* metakaolin (MK) maka akan meningkatkan kualitas kuat tekan beton tersebut. Penelitian dimulai dari pengumpulan material, pengumpulan data, pengujian agregat, proses rekayasa, pembuatan benda uji, pengujian sample, dan mengambil kesimpulan dari penelitian tersebut. Penambahan variasi metakaolin sebagai *additive* beton ditetapkan 12,5%, 17,5%, 22,5% dan 27,5% dari berat semen, ditambahkan variasi *superplasticizer* sika viscocrete 1003 sebanyak 1,5%, 1,7%, dan 1,9% dari berat semen. Bahan uji dibuat silinder dengan dimensi 15×30 cm berumur 28 hari. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh akibat penambahan metakaolin terhadap kuat tekan beton, mengetahui pengaruh penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton, dan mengetahui kuat tekan maximum dari variasi metakaolin dan *superplasticizer*. Didapatkan hasil kuat tekan maksimum pada persentase metakaolin 17,5% dan *superplasticizer* 1,5% sebesar 78,77 MPa. Penambahan metakaolin mengurangi workabilitas beton. Penambahan metakaolin pada 12,5% dan 17,5% meningkatkan kuat tekan yaitu 58,84 MPa dan 69,59 MPa (rata-rata dari variasi *superplasticizer*), pada variasi 22,5% dan 27,5% mengalami penurunan yaitu 50,24 MPa dan 46,03 MPa. Kuat tekan optimum berada pada variasi metakaolin 17,02% sebesar 78,96 MPa dengan penambahan variasi *superplasticizer* 1,5%.

**Kata Kunci:** beton mutu tinggi memadat mandiri, metakaolin, kuat tekan, *superplasticizer*.

## PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi pokok yang digunakan hingga saat ini di Indonesia. Kelebihan material beton yang mudah dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan, kekuatan tinggi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur, tahan terhadap temperature tinggi, mudah didapat bahan bakunya untuk di Indonesia dan memiliki umur yang lama. Beton memiliki kelemahan dalam proses pengerjaannya seperti pada proses pemadatan beton, dalam proses pemadatan diperlukan bantuan getaran dan tumbukan, hal ini menjadi susah ketika pengerjaan beton dilakukan pada daerah-daerah atau tempat yang sempit yang tidak bisa dijangkau oleh *vibrator*, akibatnya terjadi penurunan kualitas beton. Seiring perkembangan dunia konstruksi maka diciptakanlah beton dengan fluiditas yang tinggi sehingga tidak memerlukan bantuan alat pemadatan beton yaitu *Self Compacting Concrete (S.C.C)*.

Metakaolin adalah pozolan yang digunakan sebagai bahan pengganti semen untuk meningkatkan kualitas beton HSSCC dan mengurangi kelemahan yang terdapat pada beton konvensional. Metakaolin berasal dari mineral kaolin yang sebelumnya dilakukan kalsinasi pada suhu 650 - 850°C terlebih dahulu, berbentuk serbuk dengan ukuran 0,5 sampai 5 mikron dan berwarna putih. Penggunaan metakaolin di Indonesia masih langka ditemukan, berbeda dengan di negara lain, metakaolin menjadi alternatif geopolimer menggantikan *silica fume* karena lebih murah dan dapat mencapai kuat tekan serupa *silica fume*. Dalam penelitian ini, metakaolin diharapkan mampu menambah kuat tekan dan keawetan beton, dan mengurangi porositas dan permeabilitas beton.

Semakin banyak jumlah penambahan metakaolin pada beton, maka workabilitas menurun yang disebabkan oleh luas permukaan metakaolin lebih besar dibandingkan dengan semen. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan *superplasticizer* sehingga parameter SCC beton dapat dijaga. Menurut parameter yang akan dikaji pada penelitian ini adalah kuat tekan dan parameter *self compacting concrete*. Menurut penelitian lain, penggantian semen dengan metakaolin menurunkan workabilitas beton. Untuk mendapatkan beton dengan bahan tambah metakaolin yang memiliki kuat tekan tinggi dengan workabilitas yang baik, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut

## DASAR TEORI

Di beberapa negara maju sudah sejak lama beton mutu tinggi berhasil diproduksi untuk pekerjaan-pekerjaan khusus. Pada tahun 1941, di Jepang sudah diproduksi beton mutu tinggi dengan kuat tekan mencapai 60 MPa untuk panel cangkang beton pracetak pada sebuah terowongan kereta api. Pada tahun 1952 di Eropa beton mutu tinggi dengan kuat tekan 60 MPa sudah dipakai untuk struktur jembatan berbentuk panjang. Pada tahun 1960, di USA juga sudah diproduksi beton mutu tinggi 60 MPa untuk keperluan militer. Selanjutnya sejak tahun 1980an, beton mutu tinggi dan sangat tinggi banyak digunakan untuk pelaksanaan struktur gedung bertingkat tinggi (terutama untuk elemen kolom). Sejak 1989 sudah digunakan beton bermutu 100 – 140 MPa untuk jembatan berbentuk panjang, bangunan bawah tanah dan lepas pantai, bangunan industri seperti silo yang tinggi dan berdiameter besar, dan juga bangunan beresiko tinggi seperti bangunan reaktor pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Di Indonesia beton mutu tinggi dengan kuat tekan rata-rata sebesar 85 MPa baru dapat dibuat di laboratorium pada tahun 1990, dengan bahan tambah *superplasticizer* dan nilai *slump* mencapai 15 cm. Campuran beton yang dihasilkan memiliki kadar semen 480 kg/cm dan faktor air semen (FAS) 0,32 (Supartono, 1998). Sedangkan realisasi di lapangan maksimal baru mencapai + 80 % nya atau setara dengan 60 MPa. (As'ad, 2010).

Dalam dua dekade terakhir, bahan tambah (*admixture*) pozolan seperti *fly ash*, *silica fume*, metakaolin, dan abu sekam telah digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti semen karena dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton dibandingkan dengan semen portland biasa. Menurut standar ASTM C 618-94a (1993), pozolan ialah bahan yang mempunyai silika atau silika alumina yang memiliki sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi apabila dalam bentuk butiran yang halus dan dengan kehadiran kelembaban, bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  pada suhu biasa untuk membentuk senyawa bersifat semen.

Penggunaan *superplasticizer* atau *high range water reducer* bertujuan untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar (*workable*), sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. *Superplasticizer* mutlak diperlukan pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, karena kondisi fas yang umumnya sangat rendah. Namun dalam segala hal, penggunaan *superplasticizer* harus sesuai dengan standar ASTM-C 494-81 tipe F (As'at, 2010)

### Metakaolin

Metakaolin berasal dari kaolin, yaitu sejenis lempung halus berwarna putih yang biasa digunakan sebagai bahan porselen tradisional. Kata awalan “Meta” merupakan istilah yang menunjukkan perubahan. Dalam metakaolin, perubahan yang terjadi adalah dehidroksilasi oleh pemberian panas dalam jangka waktu tertentu. Dehidroksilasi adalah reaksi dekomposisi kristal kaolin menjadi suatu struktur tidak teratur sebagian. Dehidroksilasi terjadi pada pemanasan suhu 420°C, pada 100 - 200°C kaolin kehilangan sebagian

besar kandungan air kemudian sisanya melalui dehidroksilasi pada suhu 500 - 800°C (Patil, 2012). Hasil pengujian kandungan senyawa kimia metakaolin dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Kandungan Metakaolin

Formula	Z	Concentration	Formula	Z	Concentration
SiO <sub>2</sub>	14	61,97 %	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57	0,13 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	16,34 %	MnO	25	0,08 %
Na <sub>2</sub> O	11	7,92 %	SrO	38	0,06 %
CaO	20	4,31 %	CeO <sub>2</sub>	58	0,05 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	2,01 %	ZrO <sub>2</sub>	40	0,05 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15	1,58 %	BaO	56	0,04 %
K <sub>2</sub> O	19	1,58 %	SnO <sub>2</sub>	50	0,02 %
MgO	12	1,22 %	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23	0,02 %
SO <sub>3</sub>	16	1,14 %	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31	0,01 %
Cl	17	1,00 %	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	83	0,01 %
TiO <sub>2</sub>	22	0,36 %	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	0,01 %

## METODE

### Tinjauan Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan mencari hubungan antar variabel khususnya pada variasi penambahan metakaolin pada beton *high strength self compacting concrete (HSSCC)*. Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan tidak bebas. Variabel bebas terdiri dari variasi kadar metakaolin, perbandingan penggunaan agregat, faktor air semen dan kadar *superplasticizer*. Variabel tidak bebas adalah parameter SCC yaitu *fillingbility*, *passingability*, *segregation resistance*, dan kuat tekan.

### Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah beton mutu tinggi memadat mandiri (*high strength self compacting concrete - HSSCC*) berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji dibuat 3 buah per variasi kadar metakaolin yang nantinya akan diambil rata-rata setelah dilakukan uji tekan dengan *Compression Testing Machine (CTM)*.

**Tabel 2** Kebutuhan Benda Uji

No.	Kadar Metakaolin	Kadar Superplasticizer	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1.	0 %	1,5 %	HSSCC MK 0 A	28	3
		1,7 %	HSSCC MK 0 B	28	3
		1,9 %	HSSCC MK 0 C	28	3
2.	12,5 %	1,5 %	HSSCC MK 12,5 A	28	3
		1,7 %	HSSCC MK 12,5 B	28	3
		1,9 %	HSSCC MK 12,5 C	28	3
3.	17,5 %	1,5 %	HSSCC MK 17,5 A	28	3
		1,7 %	HSSCC MK 17,5 B	28	3
		1,9 %	HSSCC MK 17,5 C	28	3
4.	22,5 %	1,5 %	HSSCC MK 22,5 A	28	3
		1,7 %	HSSCC MK 22,5 B	28	3
		1,9 %	HSSCC MK 22,5 C	28	3
5.	27,5 %	1,5 %	HSSCC MK 27,5 A	28	3
		1,7 %	HSSCC MK 27,5 B	28	3
		1,9 %	HSSCC MK 27,5 C	28	3
Total					45

Benda uji sebanyak 45 buah yang nantinya akan di uji dengan menggunakan mesi *Compressing Testing Machine* (CTM)

### Mix Design

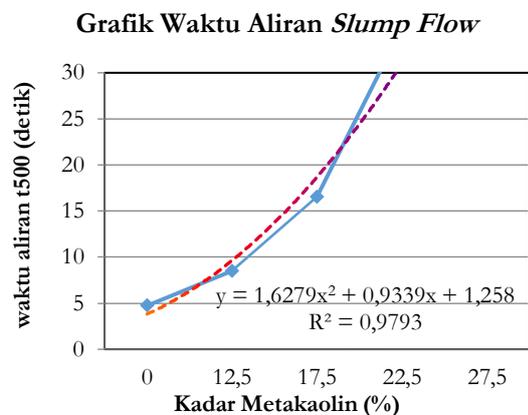
Rancang campur beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi kadar metakaolin yang digunakan mengacu pada EFNARC 2005. Berdasarkan penelitian sebelumnya, faktor air semen yang digunakan adalah 0,27 dan penggunaan *superplasticizer* sebanyak 1,7% terhadap volume air (kadar optimum pada penelitian sebelumnya). Rekapitulasi *mix design* dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Rekapitulasi *Mix Design* Beton

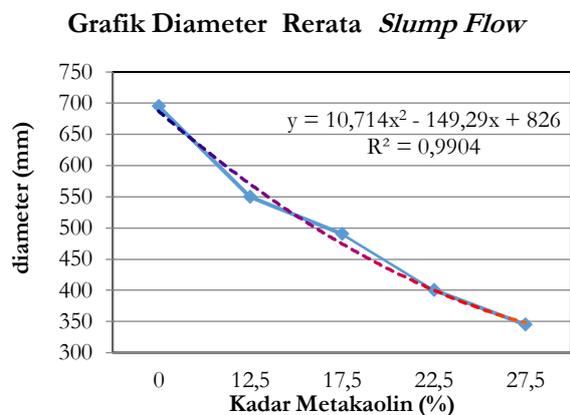
Nama Benda Uji	Agregat		Sementitus		Super plasticizer	Air
	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Metakaolin (kg/m <sup>3</sup> )		
HSSCC MK 0	854,14	824,07	600,00	0,00	10,20	162,00
HSSCC MK12,5	849,09	828,19	525,00	75,00	10,20	162,00
HSSCC MK 17,5	846,67	825,84	495,00	105,00	10,20	162,00
HSSCC MK 22,5	844,26	823,49	465,00	135,00	10,20	162,00
HSSCC MK 27,5	841,85	821,14	435,00	165,00	10,20	162,00

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Fillingability



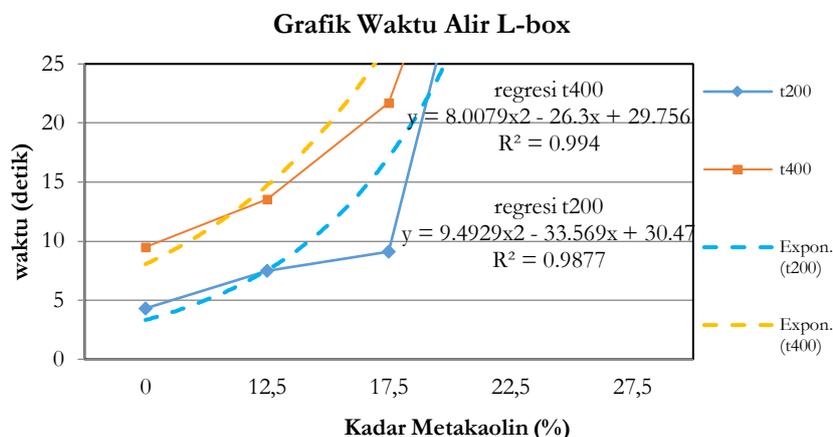
**Gambar 1** Grafik Waktu Aliran ( $T_{500}$ ) *Slump Flow*



**Gambar 2** Grafik Diameter Rerata *Slump Flow*

Berdasarkan Gambar 1 dan 2 dapat dilihat, semakin tinggi kadar metakaolin yang ditambahkan sebagai pengganti semen maka waktu alir semen semakin lama dan diameter *slump* rata-rata semakin mengecil dari pada beton acuan. Hal ini disebabkan oleh permukaan metakaolin yang mengikat lebih banyak air sehingga beton menjadi kental. Beton akan mengalami penurunan *workabilitas* apabila ditambahkan metakaolin, karena sifat metakaolin yang seperti lempung yaitu menyerap air dan memiliki permukaan yang besar dibanding semen. Ukuran metakaolin yang sangat kecil menjadikan permukaannya semakin banyak dan menjadikan luasan serap air semakin besar.

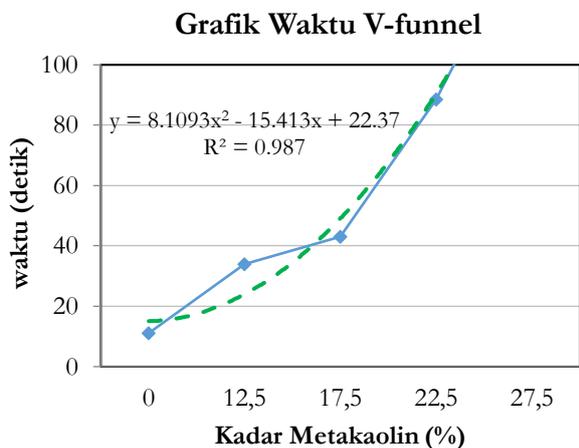
## Passingability



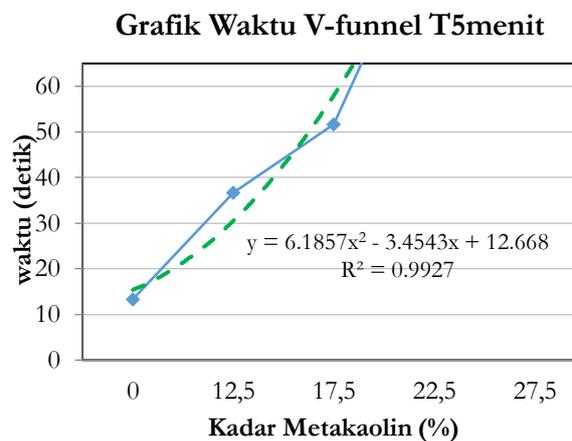
Gambar 3 Grafik Waktu Alir L-box

Gambar 3 menunjukkan bahwa menambahkan metakaolin sebagai pengganti semen mengakibatkan air banyak terikat pada butiran metakaolin sehingga beton bersifat kohesif. *Passing ratio* ( $h_2/h_1$ ) menurun seiring bertambahnya kadar metakaolin. Hal ini terbantu oleh penambahan *superplasticizer* dan *retarder* yang dapat meningkatkan workabilitas beton segar sehingga menjadikan *passingability* beton segar dengan bahan *additive* metakaolin menjadi lebih baik.

## Segregation Resistance



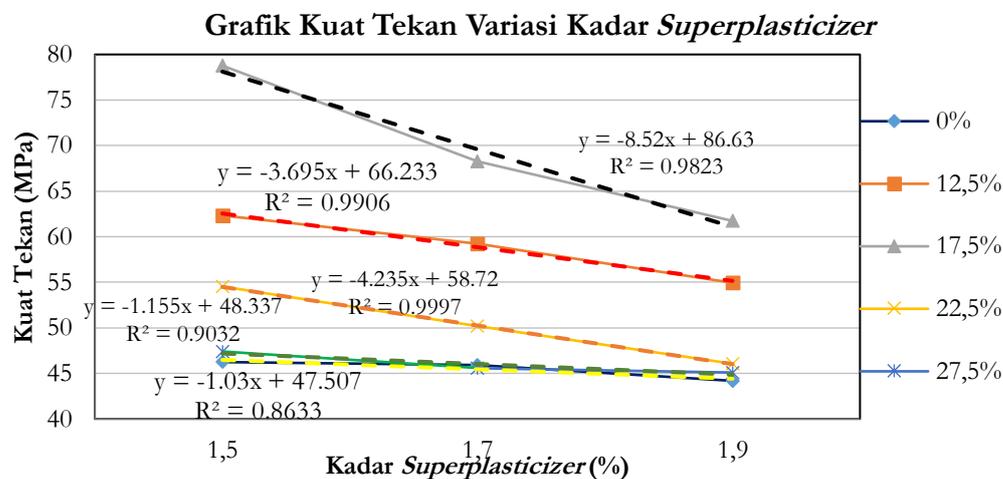
Gambar 4 Grafik Waktu V-funnel



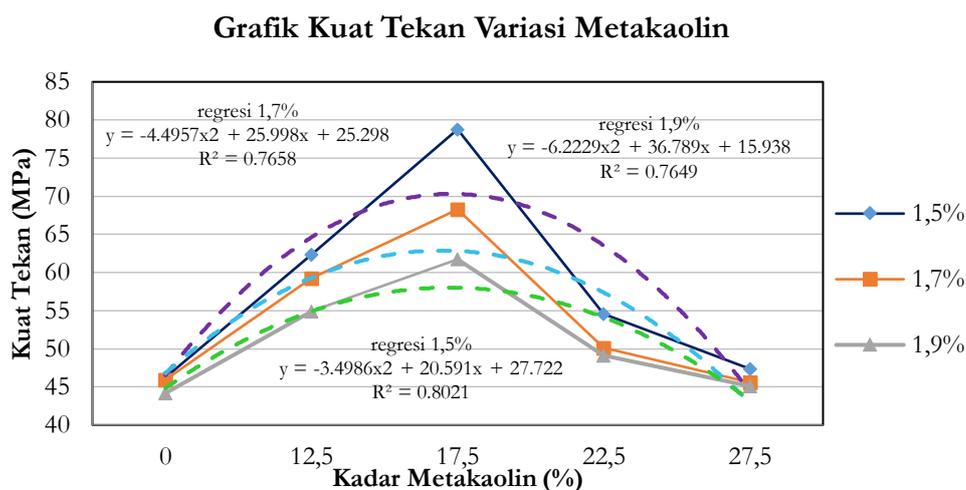
Gambar 5 Grafik Waktu V-funnel T<sub>5menit</sub>

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 Beton segar yang memenuhi persyaratan SCC hanya beton normal tanpa tambahan metakaolin (6-12 detik). Beton yang ditambahkan metakaolin tidak ada yang memenuhi syarat SCC. Penggunaan *superplasticizer* dan *retarder* berguna untuk mencegah beton mengeras dan mencegah menggumpal sehingga menambah keenceran beton tetapi tidak segregasi. Waktu alir pada *v-funnel* menurun daripada beton acuan, dikarenakan penambahan metakaolin sebagai pengganti semen mengakibatkan beton menjadi kental, ukuran butiran metakaolin yang sangat kecil sehingga luas permukaan serap air bertambah lebih besar daripada semen. Sifat metakaolin seperti lempung, yaitu mengikat lebih banyak air sehingga beton menjadi kental.

## Kuat Tekan



**Gambar 6** Grafik Kuat Tekan Variasi Kadar Metakaolin

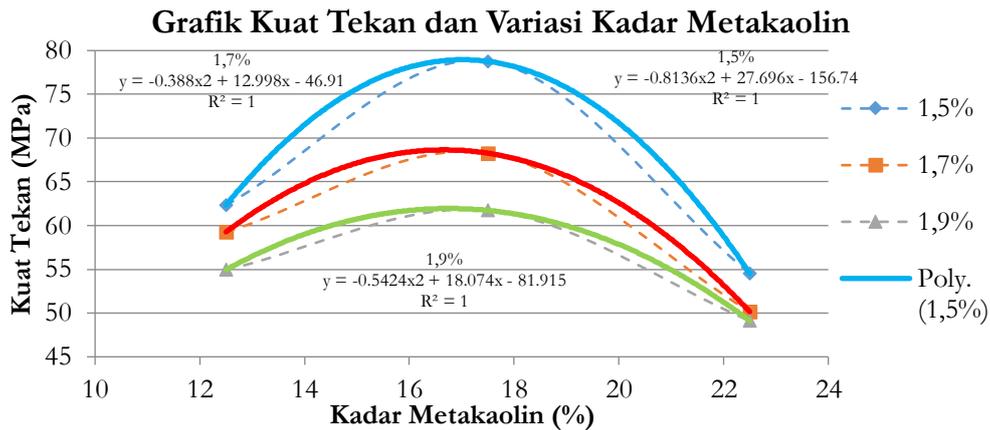


**Gambar 7** Grafik Kuat Tekan Variasi Kadar Metakaolin

Gambar 6 dan gambar 7 memperlihatkan variasi penambahan *admixture superplasticizer*, seiring dengan semakin tingginya *superplasticizer* yang digunakan pada kadar 1,5%, 1,7%, dan 1,9% kuat tekan semakin menurun. Penambahan *superplasticizer* akan menambah *workability* beton segar akan tetapi mengurangi kualitas kuat tekan beton itu sendiri.

Penambahan metakaolin pada dosis tertentu terhadap berat semen akan menambah kuat tekan beton. Senyawa pada semen yang berperan sebagai penguat kuat tekan beton yaitu senyawa  $C_3S$  dan  $C_3A$  akan bereaksi dengan senyawa pada metakaolin  $SiO_2$  dan  $Al_2O_3$ . Akan tetapi apabila kadar metakaolin terhadap berat semen terlalu tinggi (22,5 - 27,5%) reaksi pozolanik tidak bekerja secara optimal. Peningkatan kekuatan beton dengan *additive* metakaolin sesuai dengan penelitian lainnya yang disebabkan oleh reaksi pozolanik metakaolin pada kadar 20% terhadap berat semen.

Untuk mendapatkan nilai regresi yang optimum, variasi 0% dan 27,5% dihilangkan sehingga hanya 12,5%, 17,5%, dan 22,5% .



**Gambar 8.** Grafik Kuat Tekan dan Variasi Kadar Metakaolin

Berdasarkan hasil analisa bahwa garis regresi yang berbentuk adalah garis regresi kurva parabola dapat dilihat pada Gambar 8. di peroleh garis persamaan regresi sebagai berikut :

Kuat tekan saat beton hancur

$$Y = -0,8136 x^2 + 27,696 x - 156,74$$

uji hipotesis ini berfungsi untuk mengetahui persentase penambahan metakaolin optimal dalam beton umur 28 hari terhadap kuat tekan, dengan mendefinisikan persamaan regresi garis lengkung  $y = a x^2 + b x + c$  sehingga didapat  $\frac{dy}{dx} = 0$ .

$$Y = -0,8136 x^2 + 27,696 x - 156,74$$

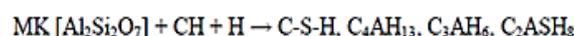
Diferensialkan sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= 0 \\ 2(-0,8136) x + 27,696 &= 0 \\ 1,6272 x + 27,696 &= 0 \\ x &= \frac{-27,696}{-1,6272} = 17,02\% \end{aligned}$$

Untuk mencari harga Y, maka x di distribusikan ke persamaan kurva sebagai berikut :

$$\begin{aligned} y &= -0,8136x^2 + 27,696x - 156,74 \\ y &= -0,8136(17,02)^2 + 27,696(17,02) - 156,74 \\ y &= 78,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa prosentase komposisi metakaolin terhadap kuat tekan beton yang optimall dicapai pada komposisi 17,02% dengan kuat tekan beton optimum sebesar 78,96MPa dengan penambahan variasi *superplasticizer* 1,5%. Pada kadar 22,5% terhadap berat pengikat mengalami penurunan, dikarenakan ikatan pozolanik senyawa SiO<sub>2</sub> pada metakaolin dan CA(OH)<sub>2</sub> yang merupakan sisa dari hidrasi semen tidak bereaksi secara maskimal seperti yang telah diteliti oleh Ade Ilham (2005). Kandungan SiO<sub>2</sub> yang tinggi, kandungan karbon yang rendah, luas permukaan yang besar dan ukuran butiran yang halus menjadikan metakaolin membantu peningkatan kuat tekan yang signifikan. Reaksi kimia dapat dilihat pada Gambar 9.





Gambar 9 Filler Effect

*Rheology* dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari mengenai pergerakan material baik dari zat cair dan deformasi zat padat. *Rheology* pada beton biasanya ditentukan dengan melihat dua parameter yaitu *yield stress* dan viskositas. Campuran beton segar yang ditambah *superplasticizer* akan menurunkan *yield stress* dan viskositas seiring bertambahnya dosis *superplasticizer*. Hal ini karena *superplasticizer* memiliki muatan negatif dan bila bercampur dengan air dan semen maka akan menghasilkan gaya tolak menolak (*dispersion*) sehingga *flowability* campuran meningkat. Penambahan metakaolin pada beton segar akan meningkatkan *yield stress* dan viskositas yang mengakibatkan beton menjadi lekat (kental) sehingga menurunkan *flowability*. Akan tetapi dapat menjadi material anti-segregasi karena metakaolin mempunyai ukuran yang halus dan permukaan serap yang tinggi sehingga mengikat banyak air.

## SIMPULAN

Dari data hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi bahan tambah metakaolin dan *superplasticizer*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan variasi kadar metakaolin terhadap berat semen meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan terjadi pada penambahan kadar metakaolin sebesar 12,5% dan 17,5% berturut-turut sebesar 58,84 MPa dan 69,59 MPa. Pada kadar metakaolin 22,5% dan 27,5% mengalami penurunan berturut-turut yaitu 50,24 MPa dan 46,03 MPa
2. Pengaruh penambahan *admixture superplasticizer* terhadap kuat tekan beton mutu tinggi memadat mandiri (HSSCC) yaitu, semakin besar kadar *superplasticizer* yang diberikan maka semakin menurunkan kekuatan tekan beton.
3. Kuat tekan beton optimum yang dapat dicapai sebesar 70,07 MPa dengan variasi kadar metakaolin 17,07% dan kadar *superplasticizer* 1,5%.

## REKOMENDASI

1. Perlu penelitian lebih lanjut pada penggunaan kadar metakaolin antara 17,5% sampai 22,5% dan mempertimbangkan kembali kadar air dan kadar *superplasticizer* untuk mencapai parameter *self compacting concrete*.
2. Penambahan bahan uji diperlukan agar data pengujian lebih valid dan menjadi cadangan apabila ada sampel yang rusak (tidak sesuai)
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi maka dapat diadakan penelitian tentang pengaruh gradasi agregat kasar dan halus terhadap kuat tekan beton.
4. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi maka dapat diadakan penelitian perbandingan kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21 hari, bahkan jika waktunya memungkinkan dapat diadakan sampai dengan umur 90 hari.
5. Pastikan pengerjaan pembuatan beton dilakukan dengan metode yang benar dan pengujian beton segar dilakukan sesegera mungkin agar didapatkan hasil yang maksimal.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih pertama ditujukan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Selanjutnya kepada Wibowo S.T., DEA dan Ir. Supardi M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- As'ad, Solihin. 2012. "*Beton Memadat Mandiri*". Harian JOGLOSEMAR, 12 Agustus 2012.
- Dharmawan, E.A., Wibowo, dan Mediyanto, A., 2017. "*Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*". Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

- Herbudiman, B., Siregar, S.E. 2013. "*Kajian Interval Rasio Air-Powder Beton Self-Compacting Terkait Kinerja Kekuatan dan Flow*". Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.
- Iham Ade, 2005. "*Pengaruh Sifat-sifat Fisik dan Kimia Bahan Pozolanik pada Beton Kinerja Tinggi*". Penelitian, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Istianto, M.M. 2010. "*Kajian Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Tambah Metakaolin dan Serat Aluminium*". Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Pujianto, A., Retno, T., dan Ariska, O. 2010. "*Beton Mutu Tinggi Dengan Admixture Superplastisizer dan Aditif Silicafume*". Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rusyandi, K., Mukodas, J. & Gunawan, Y. 2012. "*Perancangan Beton Self Compacting Concrete*" Penelitian, Sekolah Tinggi Teknologi Garut,
- Soetjipto & Ismoyo. 1978. "*Konstruksi Beton 1*". Jakarta : Dikdasmen
- Srivastava, V., Kumar, R., Agarwal, V.C.. 2012 "*Metakaolin Inclusion: Effect on Mechanical Properties of Concrete*". Civil engineering department MNNIT, Allahabad, India.
- Supartono, F.X. 1998. "*Beton Berkinerja Tinggi dan Keterikatannya dengan Pembangunan Nasional Memasuki Abad 21*". Penelitian, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1995. "*Teknologi Beton*". Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.