

KAJIAN PENGARUH VARIASI KOMPOSISI METAKAOLIN TERHADAP PARAMETER BETON MEMADAT MANDIRI DAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

Emir Ahmad Dharmawan¹⁾, Wibowo²⁾, Antonius Mediyanto³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)}Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

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

Email : emir.12695@gmail.com

Abstract

high strength self-compacting concrete (HSSCC) is one of the concrete innovations that have a high quality standard. This type of concrete has a high compressive strength and can compact without tools. Metakaolin (MK) is used in this research as a cement replacement to increase the quality of HSSCC and to reduce its weaknesses. Metakaolin (MK) is made from kaolin which is a white powder measuring 0,5 to 5 micron that then heated at 500– 900°C. Parameters that are studied in this research are setting time, workability, and the compressive strength of HSSCC. Setting time are measured by vicat test to understand the effect of MK replacement on HSSCC. Workability are measured by slump-flow table test, l-box test, v-funnel test and v-funnel T_{5minute} test. Compressive strength performed on 14 and 28 days old with compressive testing machine. Based on this research, MK increases compressive strength of concrete linearly. MK slows down concrete setting time and reduces early compressive strength of concrete at 14 days old. Workability decreases as more MK is used. Only MK addition at 5%, 7,5%, and 10% fulfills fillingability and passingability parameter based on EFNARC 2002.

keywords: *high strength self compacting concrete, metakaolin, compressive strength, setting time, workability*

Abstrak

Emir Ahmad Dharmawan, 2017. Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Beton mutu tinggi memadat mandiri adalah salah satu inovasi beton yang memiliki standar kualitas yang tinggi. Beton jenis ini memiliki kuat tekan yang tinggi dan dapat memadat tanpa bantuan alat. Metakaolin (MK) digunakan sebagai bahan pengganti semen untuk meningkatkan kualitas beton tersebut dan mengurangi kelemahannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dan parameter yang dikaji adalah waktu ikat, *fillingability*, *passingability*, *segregation resistance*, dan kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm berjumlah 30 buah. Berdasarkan hasil penelitian, MK meningkatkan kuat tekan beton secara linier. Metakaolin memperlambat waktu ikat semen dan menurunkan kuat tekan awal beton umur 14 hari. Semakin banyak MK yang digunakan, workabilitas semakin menurun. Hanya penambahan metakaolin dengan kadar 5%, 7,5%, dan 10% yang memenuhi parameter *fillingability* dan *passingability* berdasarkan EFNARC 2002.

Kata Kunci: beton mutu tinggi memadat mandiri, metakaolin, kuat tekan, waktu ikat, workabilitas

Pendahuluan

Beton mutu tinggi memadat mandiri atau *high strength self-compacting concrete* (HSSCC) adalah salah satu inovasi beton yang memiliki standar kualitas yang tinggi. Beton jenis ini memiliki kuat tekan yang tinggi dan dapat memadat tanpa bantuan alat. Beton mutu tinggi cenderung memiliki kekentalan yang tinggi sehingga penggunaan *superplasticizer* diwajibkan untuk meningkatkan *workabilitas* dan mempertahankan parameter SCC.

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 kaolin yang dipanaskan pada suhu 500 – 900°C, berbentuk serbuk berukuran 0,5 sampai 5 mikron dan berwarna putih. Walaupun di Indonesia penggunaannya masih langka, di negara lain, metakaolin menjadi alternatif dari *silica fume* karena lebih murah dan dapat mencapai kuat tekan seperti *silica fume*. Dalam penelitian ini, metakaolin diharapkan mampu menambah kuat tekan dan keawetan beton, dan mengurangi porositas dan permeabilitas beton.

Penggunaan metakaolin pada beton normal menurut Srivastava et al (2012) dapat membuat pasta beton lebih homogen karena terjadi reaksi antara metakaolin yang merupakan pozolan dengan kalsium hidrat hasil hidrasi semen. Metakaolin merupakan pozolan yang sangat reaktif sehingga berguna meningkatkan kualitas beton dengan meningkatkan kuat tekan dan mengurangi waktu setting 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

Tinjauan Pustaka

Beton yang berkualitas baik adalah beton yang memiliki kuat tekan tinggi, kedap air dan tidak kerosop/porous. Tingkat porositas dan permeabilitas yang tinggi menyebabkan keawetan beton menjadi rendah sehingga beton tidak dapat digunakan sesuai dengan masa layannya. Beton yang porous rentan akan tempat yang agresif, zat-zat mudah masuk ke dalam beton dan mengkorosi tulangan-tulangan yang ada di dalam beton. Tulangan yang terkorosi dapat mengakibatkan lemahnya tulangan sehingga tidak dapat berfungsi secara maksimal dan merusak beton di sekelilingnya (*spalling*). Oleh sebab itu diperlukan teknologi dan metode baru yang memungkinkan pengecoran dapat dilakukan dengan merata dan terjaga homogenitas campuran beton. Dan salah satu solusinya adalah dengan penggunaan beton yang dapat memadat sendiri (*self compacting concrete- SCC*) (As'ad, 2012).

Self Compacting Concrete (SCC) 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 (Herbudiman, 2013)

Metakaolin

Kaolin adalah 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 berikut

Tabel 1 Kandungan Metakaolin

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO ₂	14	68.46%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Al ₂ O ₃	13	17.89%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
CaO	20	4.91%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Fe ₂ O ₃	26	2.39%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
K ₂ O	19	1.61%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
P ₂ O ₅	15	1.58%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
Cl	17	1.19%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
SO ₃	16	1.19%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
TiO ₂	22	0.46%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
MnO	25	0.09%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
SrO	38	0.08%	Fit spectrum	Sr KA1/EQ20
ZrO ₂	40	0.05%	Fit spectrum	Zr KA1/EQ20
SnO ₂	50	0.03%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
Ga ₂ O ₃	31	0.01%	Fit spectrum	Ga KA1/EQ20

Metode Penelitian

Tinjauan Umum

Parameter yang dikaji pada penelitian ini adalah waktu ikat, workabilitas, dan kuat tekan beton HSSCC. Waktu ikat ditentukan menggunakan uji vicat untuk mengetahui pengaruh waktu ikat HSSCC dengan penambahan MK. Workabilitas ditentukan dengan uji *slump-flow table*, *l-box*, *v-funnel* dan *v-funnel T_{5menit}*. Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 dan 28 hari dengan *compressive testing machine*.

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 yaitu beton HSSCC dengan kadar bahan tambah metakaolin digunakan sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Berikut adalah penamaan sampel yang digunakan.

Tabel 2 Penamaan Benda Uji

No	Kadar Metakaolin	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1.	0%	HSSCC MK 0	14	3
			28	3
2.	5%	HSSCC MK 5	14	3
			28	3
3.	7,5%	HSSCC MK 7,5	14	3
			28	3
4.	10%	HSSCC MK 10	14	3
			28	3
5.	12,5%	HSSCC MK 12,5	14	3
			28	3
Total Benda Uji				30

Mix Design

Komposisi material penyusun beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi penambahan metakaolin mengacu pada EFNARC (2002 & 2005). Faktor air semen yang digunakan adalah 0,27 dengan penambahan *superplasticizer* Viscocrete 1003 sebanyak 1,7% dari berat semen. Dalam menentukan kadar *superplasticizer* ini dilakukan *trial and error* berdasarkan persyaratan EFNARC. Rekapitulasi *mix design* beton dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Rekapitulasi *Mix Design* Beton

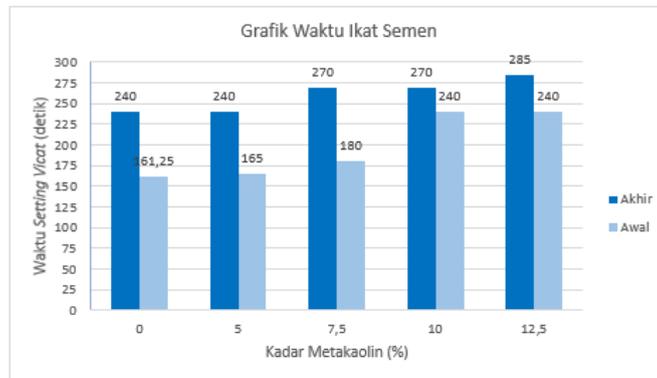
Nama Benda Uji	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Agregat Halus (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Metakaolin (Kg/m ³)	Air (lt/m ³)	<i>Superplasticizer</i> (lt/m ³)
HSSCC MK 0	785,01	651,17	696,03	0	187,93	11,11
HSSCC MK 5	785,01	651,17	657,96	34,63	187,00	11,06
HSSCC MK 7,5	785,01	651,17	639,07	51,82	186,54	11,03
HSSCC MK 10	785,01	651,17	620,27	68,92	186,08	11,00
HSSCC MK 12,5	785,01	651,17	601,56	85,94	185,62	10,97

Analisis Data dan Pembahasan

Waktu Ikat (*Setting Time*)

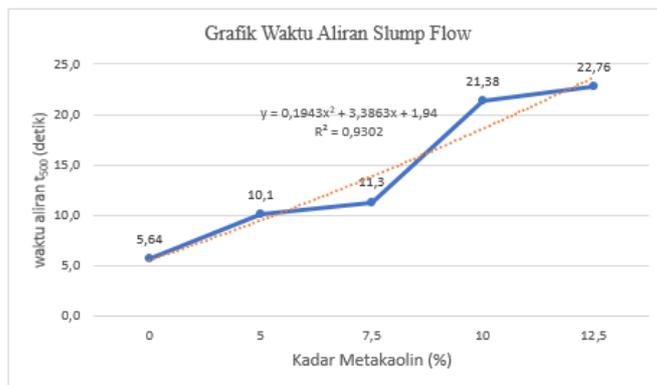
Berdasarkan Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar metakaolin yang digunakan sebagai pengganti semen maka semakin lama waktu *setting* awal dan akhir semen. Peningkatan waktu ikat semen terjadi karena adanya penambahan metakaolin. Metakaolin yang merupakan bahan pozolan memperlambat waktu ikat semen karena adanya efek *retarder* sesuai dengan penelitian Norhasri (2016).

Semakin banyak penggunaan metakaolin sebagai pengganti semen maka akan semakin mengurangi senyawa - senyawa yang terdapat pada semen yang berperan dalam mempercepat waktu ikat semen. Dengan penambahan metakaolin, senyawa yang tersisa dari hidrasi semen yaitu senyawa C-H akan bereaksi kembali dengan senyawa yang terdapat pada metakaolin yaitu silika dan alumina yang disebut dengan reaksi pozolanik. Adanya reaksi tambahan ini menyebabkan proses hidrasi semen yang berkelanjutan dan pengikatan beton yang semakin lama.

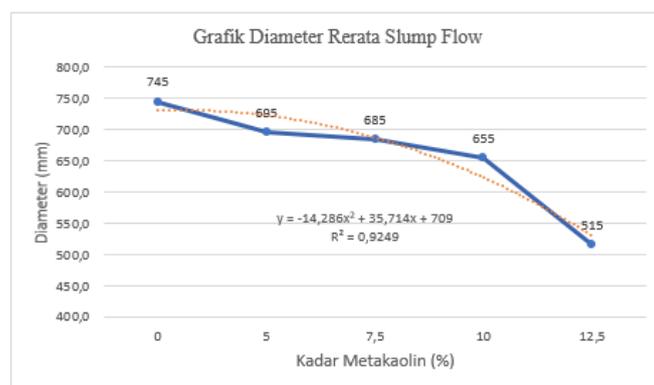


Gambar 1 Grafik waktu ikat semen

Fillingability



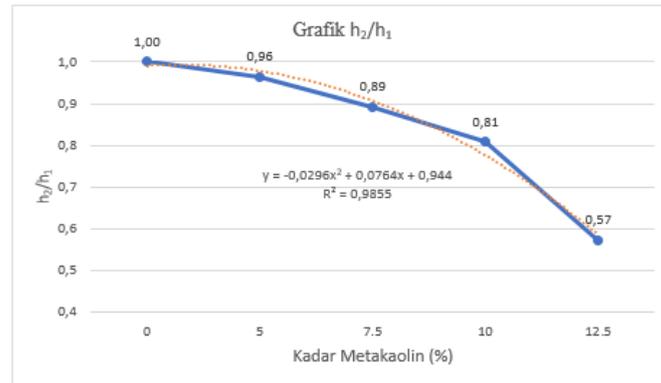
Gambar 2 Grafik Waktu Aliran (T_{500}) Slump Flow



Gambar 3 Grafik Diameter Rerata Slump Flow

Dari Gambar 2 dan 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar metakaolin yang digunakan sebagai pengganti semen, maka waktu alir semen semakin lama dan diameter slump rata-rata mengecil dari pada beton acuan. Hal ini disebabkan oleh metakaolin yang mengikat lebih banyak air sehingga beton menjadi kental. Beton dengan bahan tambah metakaolin akan mengalami penurunan workabilitas karena metakaolin bersifat seperti lempung yaitu menyerap air dan memiliki luas permukaan yang besar dibanding semen.

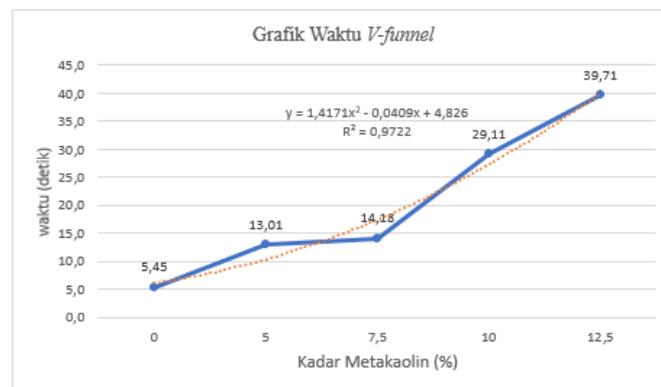
Passingability



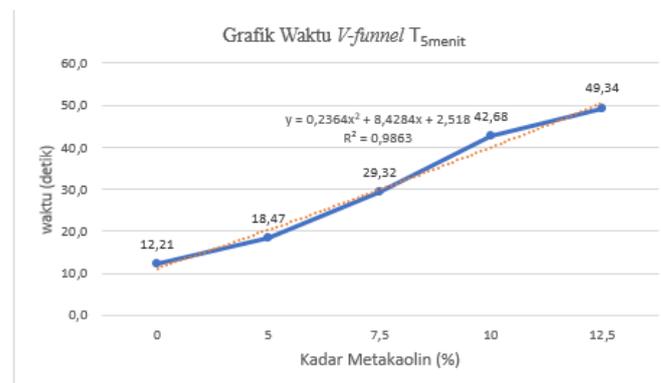
Gambar 4 Grafik Waktu Aliran (T_{500}) *Slump Flow*

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar metakaolin yang digunakan sebagai pengganti semen, maka *passing ratio* atau h_2/h_1 menurun diakibatkan oleh metakaolin yang mengikat lebih banyak air sehingga beton menjadi lebih kohesif. Hal ini terbantu oleh penambahan *superplasticizer* yang dapat meningkatkan workabilitas beton segar sehingga dapat memberikan beton dengan bahan tambah metakaolin *passingability* yang lebih baik.

Segregation Resistance



Gambar 5 Grafik Waktu *V-funnel*

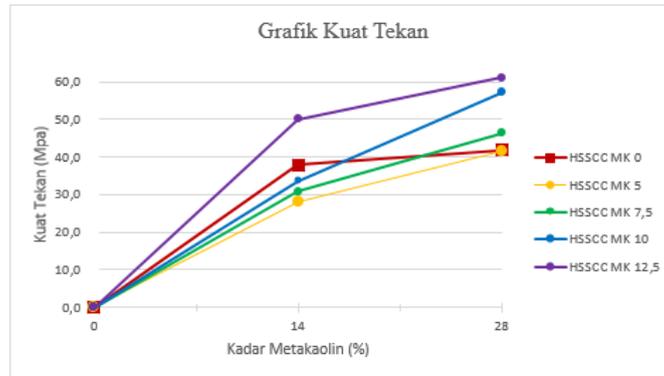


Gambar 6 Grafik Waktu *V-funnel* T_{5menit}

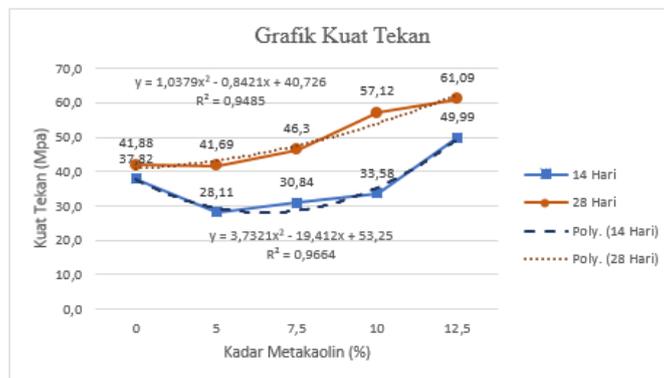
Dapat dilihat dari Gambar 5 dan 6, beton yang memenuhi persyaratan *self compacting concrete* hanya beton tanpa bahan tambah saja karena beton dengan bahan tambah metakaolin memiliki waktu alir lebih dari 12 detik. Penggunaan *superplasticizer* berguna untuk mencegah beton tidak menggumpal dan lebih tersebar merata. Dengan adanya penambahan metakaolin, beton menjadi semakin kental karena butirannya yang sangat halus memiliki luas permukaan yang lebih besar dari semen sehingga menyerap lebih banyak air

mengakibatkan kemampuan beton mengalir berkurang. Semakin tinggi kadar metakaolin yang digunakan sebagai pengganti semen, maka waktu alir semen pada *v-funnel* menurun dari pada beton acuan. Hal ini disebabkan oleh sifat metakaolin yang seperti lempung mengikat lebih banyak air sehingga beton menjadi kental.

Kuat Tekan



Gambar 7 Grafik Kuat Tekan Umur 14 dan 28 Hari



Gambar 8 Grafik Kuat Tekan Variasi Kadar Metakaolin

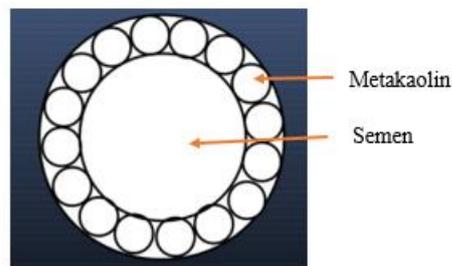
Penambahan metakaolin pada umur 14 hari tidak meningkatkan kuat tekan awal beton dikarenakan oleh campuran beton *high strength self compacting concrete* (HSSCC) yang sangat padat sehingga terdapat ruang kosong yang sangat kecil antara semen dan agregat. Padatnya campuran ini menyebabkan metakaolin terhambat dalam mengisi ruang kosong tersebut. Efek *filler* yang tidak sempurna ini menyebabkan kuat tekan awal yang rendah seperti yang diteliti oleh Norhasri (2016). Penyebab lain kemungkinan dengan adanya penambahan bahan tambah yang mengganggu senyawa pada semen yang berperan untuk meningkatkan kuat tekan awal beton yaitu senyawa C3S dan C3A. Reaksi pozolanik pada beton umur 14 hari dan kadar pozolan yang rendah belum dapat bereaksi dengan C-H secara optimal seperti yang terjadi pada beton umur 28 hari sesuai dengan penelitian El-Din tahun 2017. Beton dengan penambahan kadar metakaolin 12,5% pada umur 14 hari memiliki kuat tekan lebih tinggi dari beton acuan. Pada penambahan kadar metakaolin 12,5% ini, reaksi pozolanik lebih terlihat daripada kadar yang lebih rendah dalam meningkatkan kuat tekan beton.

Kuat tekan beton umur 28 hari meningkat dengan stabil seiring dengan tingginya kadar metakaolin yang digunakan. Peningkatan kuat tekan ini sesuai dengan penelitian lainnya yang disebabkan oleh reaksi pozolanik metakaolin, *filler effect*, dan *ball effect*. *Filler effect* adalah proses pengisian rongga kosong yang terdapat dalam campuran beton. Metakaolin yang merupakan bahan tambah pada penelitian ini berperan dalam mengisi rongga kosong dalam campuran beton. Porositas beton adalah salah satu aspek yang mendapatkan keuntungan dengan adanya *filler effect* ini. Dengan adanya penambahan metakaolin, terjadi peningkatan kepadatan campuran beton atau *aggregate packing* dikarenakan butiran metakaolin yang sangat kecil daripada semen. Metakaolin juga berperan sebagai penutup pori saat terjadi reaksi pozolanik yang menyebabkan bertambahnya senyawa C-S-H disekitar partikel metakaolin sesuai penelitian Barbhuiya tahun 2015.



Gambar 9 Filler Effect

Penambahan metakaolin meningkatkan kepadatan beton yang meningkatkan kekuatan beton salah satunya melalui *ball bearing effect*. *Ball bearing effect* adalah dimana partikel metakaolin yang lebih kecil dari semen bertindak sebagai pelicin antara seluruh komponen penyusun beton seperti semen, pasir, dan kerikil. Metakaolin melicinkan permukaan komponen – komponen penyusun beton yang mengakibatkan bergesernya komponen pada bagian atas campuran beton ke bawah campuran dengan bantuan gravitasi. Dengan bergesernya komponen penyusun beton maka campuran beton akan semakin padat yang akibatnya meningkatkan kekuatan beton itu sendiri. Ilustrasi *ball bearing effect* dapat dilihat pada Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10 Ball-bearing effect

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

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

1. Penambahan variasi metakaolin pada campuran beton mutu tinggi memadat mandiri meningkatkan kuat tekan beton secara linier. Peningkatan kuat tekan beton tertinggi terjadi pada penambahan 12,5% metakaolin pada umur 14 hari (32,18%) dan 28 hari (45,87%).
2. Penambahan variasi metakaolin pada campuran beton mutu tinggi memadat mandiri menurunkan workabilitas beton. Hanya penambahan metakaolin dengan kadar 5%, 7,5%, dan 10% yang memenuhi parameter *fillingability* dan *passingability* berdasarkan EFNARC 2002.
3. Penambahan metakaolin dengan kadar 10% meningkatkan kuat tekan beton secara maksimum dan masih mempertahankan parameter beton memadat mandiri.

Saran

Saran yang dapat penulis berikan berdasarkan penelitian ini dan keperluan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu penelitian lebih lanjut pada penggunaan kadar metakaolin yang lebih tinggi dan dipertimbangkan juga kadar air dan penggunaan *superplasticizer* untuk mempertahankan parameter *self compacting concrete*.
2. Penambahan sampel uji diperlukan agar data – data pengujian lebih valid dan cadangan jika ada sampel yang rusak.
3. Pastikan pembuatan metakaolin menggunakan metode yang tepat dan perlu adanya referensi dari buku dan jurnal. Penyimpanan metakaolin harus dijaga suhu dan kelembabannya agar tidak berubah sifat seperti menggumpal jika lembab.
4. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut pada umur beton yang lebih lama dari 28 hari, seperti 56 dan 90 hari karena reaksi pozolanik terjadi pada beton umur tinggi.

Referensi

- As'ad, Solihin. 2012. "*Beton Memadat Mandiri*". Harian JOGLOSEMAR, 12 Agustus 2012.
- Barbhuiya, S., Chow, P., Memon, S. 2015. "*Microstructure, hydration and nanomechanical properties of concrete containing metakaolin*". Curtin University, Australia.
- EFNARC. 2002. "*Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*".
- El-Din, H.K.S., et al. 2017. "*Mechanical performance of high strength concrete made from high volume of Metakaolin and hybrid fibers*". Structural Engineering Department, Faculty of Engineering, Zagazig University, Egypt.
- 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.
- Norhasri, M.S.M., et al. 2016. "*Inclusion of nano metakaolin as additive in ultra high performance concrete (UHPC)*". Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi MARA (UiTM), Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Patil, S.N., Gupta, A.K., dan Deshpande, S.S. 2012. "*Metakaolin- Pozzolanic Material For Cement in High Strength Concrete*". Dept. of Civil Engg., Dr. JJMCOE, Jaysingpur, M.S. India.
- Srivastava, V., Kumar, R., Agarwal, V.C.. 2012 "*Metakaolin Inclusion: Effect on Mechanical Properties of Concrete*". Civil engineering department MNNIT, Allahabad, India.