

PEMENUHAN KRITERIA BETON MEMADAT MANDIRI DENGAN VARIASI METAKAOLIN TERHADAP KAJIAN KUAT TEKAN TINGGI DAN MODULUS ELASTISITAS

Sains Satria Nurkhasan¹⁾, Wibowo²⁾, Endah Safitri³⁾

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, Kentingan Surakarta 57126, Telp (0271) 647069, Fax 662118

Email: sainssatria@gmail.com

Abstract

The utilization of concrete in the construction world has experienced very rapid development. So we need concrete innovations to improve quality and quality. One of them is high quality solidified concrete which in the design of concrete mix, adding added ingredients at certain levels which are pozzolanic can improve the quality of concrete. This research uses metakaolin which is a pozzolanic added ingredient. The purpose of this study was to determine the effect of adding metakaolin to SCC parameters, compressive strength, and modulus of elasticity of HSSCC concrete. This study uses metakaolin as a partial replacement of portland cement in concrete mixtures to understand the effect of cement substitution on workability, compressive strength, and elastic modulus of the concrete. The level of metakaolin used in the study was 12.5%; 15%; 17.5%; 20%; and 22.5% with superplasticizer MasterEase 3029 with 1.9% content. Workability testing in this study includes a slump flow test to measure filling ability, V-funnel test to measure passing ability, and L-box test to measure segregation resistance. This study uses an experimental method with cylindrical specimens with a diameter of 15cm and a height of 30cm. Testing is done by applying a dial ring to a concrete blanket and applying axial pressure to the concrete surface using a Compression Testing Machine to the maximum load.

Keywords: high strength self compacting concrete, metakaolin, workability, compressive strength, modulus of elasticity.

Abstrak

Pemanfaatan beton dalam dunia konstruksi sudah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Sehingga diperlukan inovasi beton untuk meningkatkan mutu dan kualitasnya. Salah satunya adalah beton mutu tinggi memadat mandiri yang dalam rancang campur beton penambahan bahan tambah pada kadar tertentu yang bersifat pozolan dapat meningkatkan kualitas beton. Penelitian ini menggunakan metakaolin yang termasuk bahan tambah yang bersifat pozolan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin terhadap parameter SCC, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton HSSCC. Penelitian ini menggunakan metakaolin sebagai pengganti sebagian semen *portland* pada campuran beton untuk memahami pengaruh dari substitusi semen terhadap *workabilitas*, kuat tekan, dan modulus elastisitas dari beton tersebut. Kadar metakaolin yang digunakan pada penelitian adalah 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; dan 22,5% dengan superplasticizer MasterEase 3029 dengan kadar 1,9%. Pengujian *workabilitas* 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*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Pengujian dilakukan dengan memberikan dial ring pada selimut beton dan memberikan tekanan aksial ke permukaan beton menggunakan *Compression Testing Machine* sampai beban maksimum.

Kata Kunci : beton mutu tinggi memadat mandiri, metakaolin, *workabilitas*, kuat tekan, modulus elastisitas.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan beton dalam dunia konstruksi sudah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Tuntutan akan adanya hasil kerja konstruksi yang bagus memunculkan inovasi-inovasi baru yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kendala yang terjadi. Penerapan inovasi yang sesuai dengan pedoman pembuatan beton bertujuan untuk mencapai standar tertinggi kualitas mutu beton.

Beton adalah bahan yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi, hal tersebut menjadikan inovasi – inovasi beton terus berkembang untuk meningkatkan mutu dan kualitasnya. Salah satu inovasi beton yang banyak dikembangkan adalah Beton memadat mandiri *atau self-compacting concrete* (SCC) yang merupakan beton yang dapat mengalir dan memenuhi tempatnya karena berat sendiri sehingga mampu memadat dengan baik tanpa perlu menggunakan vibrator dan tidak menimbulkan efek samping berupa bleeding ataupun segregasi. Sehingga, menjadikan SCC sangat bermanfaat dalam dunia konstruksi. Banyak jenis SCC yang ada, salah satunya yaitu *High Strength Self Compacting Concrete* yang merupakan beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi dan dapat memadat mandiri.

Dalam rancang campur beton, penambahan bahan tambah merupakan komponen yang perlu diperhatikan. Salah satu bahan tambah beton adalah metakaolin. Metakaolin merupakan pozzolan yang berasal dari bahan kaolin yang telah melalui proses pemanasan pada suhu 500°C – 900°C dan berbentuk serbuk halus dengan ukuran 0,5 sampai 5 mikron. Metakaolin digunakan sebagai bahan tambah dimana senyawa silika yang terkandung didalamnya akan

bereaksi dengan CH hasil reaksi hidrasi semen dan membentuk senawa CSH yang berperan sebagai perekat sekaligus filler sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton. Pozzolan yaitu bahan yang mengandung silika atau aluminosilika yang dengan sendiri, tidak atau sedikit mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang memiliki sifat seperti semen.

Menilai kualitas mutu beton digunakan parameter utama yaitu kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Semakin kuat struktur yang diinginkan maka semakin besar kuat tekan pada beton. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton akan berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas beton yang juga semakin tinggi. Modulus elastisitas berkaitan erat dengan kekuatan bahan pada beton yang akan menerima beban, reaksi yang terjadi mengakibatkan perubahan tegangan dan regangan pada beton. Modulus elastisitas tinggi menunjukkan rasio tegangan terhadap regangan yang dihasilkan tinggi sehingga lendutan yang terjadi pada beton kecil. Oleh karena itu, pada penelitian ini meninjau tentang pemenuhan kriteria beton memadat mandiri dengan variasi metakaolin terhadap kajian kuat tekan tinggi dan modulus elastisitas.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*)

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan dengan disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. Mutu material yang bagus untuk pembentukan beton merupakan salah satu upaya untuk menghasilkan beton mutu tinggi, sebagai contoh penghitungan terhadap kekerasan agregat, kehalusan butir semen, dan pemilihan bahan tambah untuk meningkatkan kuat tekan beton.

Beton Memadat Mandiri (*Self Compacting Concrete*)

Self Compacting Concrete (SCC) adalah campuran beton yang dapat memadat mandiri tanpa bantuan alat pemadat/penggetar (*vibrator*). SCC dapat mengalir memenuhi setiap sudut dari bekisting struktur bangunan dan mengisi tinggi permukaan sesuai dimensi yang sudah diperhitungkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami segregasi dan *bleeding* sehingga air yang masuk ke dalam beton dapat diperkecil dan karat pada besi tulangan dapat dicegah. Gradasi agregat yang tepat dan komposisi material yang dipergunakan, yang memiliki kadar bahan semen yang tinggi adalah hal penting dalam memenuhi persyaratan beton SCC (Herbudiman, 2013).

Metakaolin

Metakaolin adalah kaolin yang berasal dari sejenis lempung halus berwarna putih yang biasa digunakan sebagai bahan porselen tradisional. Metakaolin mempunyai kata awalan “Meta” yang menunjukkan “perubahan”. Perubahan yang terjadi dalam metakaolin adalah dehidroksilasi atau reaksi dekomposisi kristal kaolin menjadi suatu struktur tidak teratur sebagian dalam jangka waktu tertentu. Reaksi ini terjadi pada pemanasan suhu 420°C, pada 100°C - 200°C kaolin kehilangan sebagian besar kandungan air kemudian sisanya melalui dehidroksilasi pada suhu 500°C – 800°C (Patil, 2012).

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas yang mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, dimana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur maka semakin tinggi juga mutu beton yang dihasilkan (Pamungkas, 2017).

Nilai kuat tekan beton didapat melalui cara pengujian standard menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban bertingkat dengan kecepatan peningkatan tertentu atas benda uji silinder sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan maksimum (f_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama pengujian.

Modulus Elastisitas

Kajian mengenai hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan mengalami perubahan bentuk pada bahan itu amat tergantung pada sifat tegangan dan regangan tersebut. Modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dapat dihitung. (Murdock, 1991)

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental untuk mengkaji *workabilitas*, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi memadat mandiri. Komposisi metakaolin yang digunakan adalah 0%; 12,5%; 15%; 17,5%; 20%; dan 22,5%. Pengujian yang dilakukan untuk *workabilitas* adalah *slump flow test* untuk mengukur *filling*

ability, *V-funnel test* untuk mengukur *passing ability*, dan *L-box test* untuk mengukur *segregation resistance*. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas menggunakan benda uji silinder berdiameter 15cm dan tinggi 30cm dengan umur beton 28 hari. Benda uji yang digunakan tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama dan Jumlah Benda Uji

Kadar Metakaolin	Nama Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah
0%	HSSCC-MK0	28	3
12,5%	HSSCC-MK12,5	28	3
15%	HSSCC-MK15	28	3
17,5%	HSSCC-MK17,5	28	3
20%	HSSCC-MK20	28	3
22,5%	HSSCC-MK22,5	28	3

Mix Design

Rancang campur beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi komposisi metakaolin dibuat berdasarkan EFNARC 2005. Campuran beton menggunakan agregat normal, semen OPC tipe 1, faktor air semen 0.31, *Superplasticizer* MasterEase 3029 dengan kadar 1,9% dari berat semen dan metakaolin. Rekapitulasi rancangan campuran adukan beton 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. Parameter beton memadat mandiri pada penelitian ini adalah *filling ability*, *passing ability* dan *segregation resistance* yang diuji dengan pengujian *slump flow*, *V-funnel*, dan *L-box* yang dilakukan berdasarkan EFNARC 2002.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SNI 03-1974-1990 pada saat umur beton 28 hari dengan menggunakan *compression testing machine* (CTM) di Laboratorium bahan program studi teknik sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Hasil dari pembacaan mesin adalah beban maksimum (Pmaks). Data beban maksimum tersebut dapat diolah dan menghasilkan nilai kuat tekan beton dengan menggunakan Persamaan [1].

$$f_c = P / A \dots\dots\dots [1]$$

dengan f_c = kuat tekan beton (MPa), P = beban desak maksimum (N), A = luas permukaan benda uji (mm²)

Modulus elastisitas beton

Pegujian yang dilakukkan adalah dengan mencari nilai tegangan dan regangan beton yang dilakukan menggunakan CTM dengan memberikan dail ring pada selimut beton untuk mencari nilai regangan dan nilai tegangan didapat dari pengujian kuat tekan. Penghitungan modulus elastisitas menggunakan beberapa rumus empiris yang sudah diketahui. Hasil hitungan dibedakan menjadi dua yaitu berdasarkan hasil eksperimen dan berdasarkan hasil prediksi. Berdasarkan hasil eksperimen dapat dihitung dengan Persamaan [2] dan Persamaan [3].

Persamaan berdasarkan ASTM C469

$$E_c = (0.4 f_c - \sigma_i) / (\epsilon (0.4 f_c) - \epsilon_i) \dots\dots\dots [2]$$

dengan E_c = modulus elastisitas (MPa), ϵ_i = regangan aksial (mm/mm), σ_i = tegangan yang berhubungan dengan ϵ_i (MPa), f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Persamaan Eurocode 2-1992

$$E_c = (0.4 f_c) / (\epsilon (0.4 f_c)) , [\text{interval } \sigma = 0 - \sigma = 0,4f_c] \dots\dots\dots [3]$$

dengan E_c = modulus elastisitas statik (MPa), ϵ = regangan aksial (mm/mm), f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Penghitungan modulus elastisitas berdasarkan hasil prediksi dapat dihitung dengan Persamaan [4] sampai dengan Persamaan [9].

Persamaan berdasarkan ACI Committee 363-10

$$E_c = 3320 \sqrt{f_c} + 6900, [\text{High-strength concrete, } f_c \leq 83 \text{ MPa}] \dots \dots \dots [4]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Persamaan berdasarkan Eurocode 2-1992

$$E_c = 9500 (f_c + 8)^{0,33} \dots \dots \dots [5]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Persamaan berdasarkan Kollmorgen

$$E_c = 11800 (f_c)^{(1/3,14)}, [34 \leq f_c \leq 207 \text{ MPa}] \dots \dots \dots [6]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Persamaan berdasarkan Norwegian Standard NS 3473

$$E_c = 9500 (f_c)^{0,3}, [25 \leq f_c \leq 85 \text{ MPa}] \dots \dots \dots [7]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa).

Persamaan berdasarkan Norwegian Code

$$E_c = 9500 (f_c)^{0,3} (w/2400)^{1,5} \dots \dots \dots [8]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa), w = berat volume beton (kg/m³).

Persamaan berdasarkan SNI 2847-2013

$$E_c = 0,043 (w_c)^{1,5} (f_c)^{0,5}, [1500 \leq w_c \leq 2500 \text{ kgf/m}^3] \dots \dots \dots [9]$$

dengan f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa), w_c = berat satuan beton (kgf/m³).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, pasir yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan oleh ASTM dengan nilai kadar lumpur 4,5%, nilai *specific gravity in saturated dry condition* adalah 2,51 dan modulus kehalusan pasir sebesar 2,25. Sedangkan hasil uji agregat kasar juga telah memenuhi standar ASTM dengan nilai abrasi/keausan adalah 26,92%, modulus kehalusan kerikil 7,67 dan *specific gravity* 2,51. Metakaolin yang digunakan mengandung SiO₂ sebesar 65% dan Al₂O₃ sebesar 15,02% yang merupakan unsur utama pembentuk semen. Hasil berat volume adalah 2,48 gram/cm³, sehingga dikasifikasikan sebagai beton normal menurut SNI 03-2847-2002. Hasil pengujian pada beton segar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Parameter Beton Segar.

Benda Uji	Drerata (mm)	T _{500rerata} (detik)	V-funnel (detik)	L-Box (h ₂ /h ₁)
HSSCC MK-0	755	2,21	10,31	0,947
HSSCC MK-12,5	750	2,53	10,51	0,944
HSSCC MK-15	742,5	2,73	11,27	0,944
HSSCC MK-17,5	740	2,89	12	0,941
HSSCC MK-20	735	3,14	12,26	0,842
HSSCC MK-22,5	715	3,47	14	0,842

Tabel 3 menunjukkan semua hasil pengujian beton segar memenuhi standar EFNARC 2000. Pada pengujian *slump-flow*, semua nilai diameter rerata masih berada pada nilai antara 650 – 800 mm dan waktu alir untuk menyentuh diameter sebaran 500 mm masih berada antara 2 – 5 detik. Semua kadar memiliki nilai perbandingan h₂ dengan h₁ pada pengujian *L-box* masih bernilai diantara 0,8 – 1 yang berarti beton tersebut masih memenuhi persyaratan beton memadat mandiri berdasarkan pengujian *slumpflow* dan *L-box*. Pada pengujian *v-funnel* pada substitusi kadar 20% dan 22,5% waktu alir sudah melampaui 12 detik yang berarti beton segar sudah tidak memenuhi persyaratan beton memadat mandiri yang ditetapkan oleh EFNARC 2005 pada parameter *fillingability*.

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar metakaolin yang ditambahkan akan membuat beton segar menjadi lebih kental dan menurunkan *workability* beton. Hal ini terjadi karena metakaolin bersifat seperti lempung yang lebih mudah untuk menyerap air dari pada semen. (Dhaemawan, 2017)

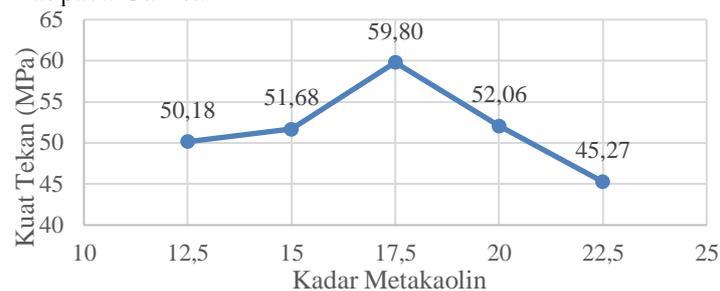
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dan Kenaikan dari Beton acuan

Nama Benda Uji	Kadar Metakaolin	Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan dari Beton Acuan (MPa)
HSSCC-MK0	0%	46,87	0
HSSCC-MK12,5	12,5%	50,17	3,30
HSSCC-MK15	15%	51,68	4,81
HSSCC-MK17,5	17,5%	59,79	12,92
HSSCC-MK20	20%	52,06	5,18
HSSCC-MK22,5	22,5%	45,27	-1,60

Berdasarkan Tabel 4, Kuat tekan paling tinggi terdapat pada beton HSSCC-MK17,5 yaitu sebesar 59,79 MPa. Kenaikan kuat tekan dan kadar komposisi metakaolin dibuat grafik hubungan kuat tekan dengan variasi komposisi metakaolin yang dapat dilihat pada Gambar 1.



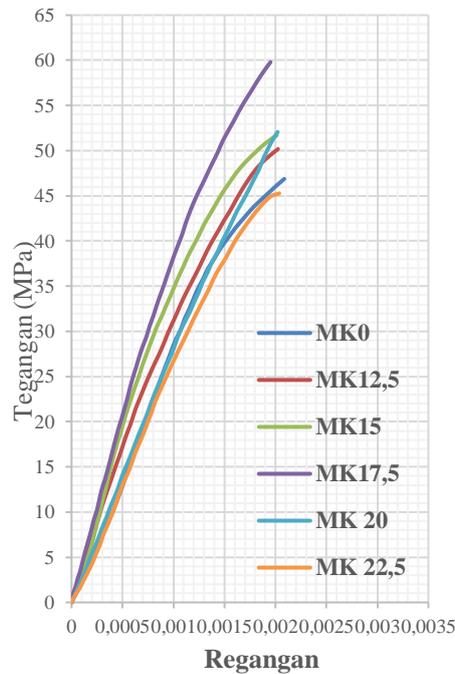
Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Beton HSSCC Metakaolin

Pada penggantian semen dengan metakaolin kadar 20% terjadi penurunan nilai kuat tekan dari kadar 17,5% namun nilai tersebut tetap masih lebih tinggi daripada kuat tekan beton tanpa metakaolin. Pada penggantian semen dengan metakaolin kadar 22,5% terjadi penurunan kuat tekan sehingga kuat tekan pada kadar 22,5% tersebut lebih rendah daripada kuat tekan beton tanpa metakaolin. Nilai kuat tekan pada kadar 22,5% ini ialah 45,27 MPa dengan penurunan sebesar 1,60 MPa dari beton tanpa metakaolin.

Penurunan kuat tekan terjadi akibat penambahan metakaolin sebagai pengganti sebagian berat semen yang dapat diartikan terjadi penurunan persentase semen sebagai pengikat utama dalam campuran beton, semakin bertambah kadar metakaolin yang digunakan maka semakin berkurang berat semen yang digunakan. Selain itu, reaksi antara metakaolin dengan reaksi hidrasi semen belum terjadi secara optimal dan mulai terjadilah penurunan kuat tekan beton pada kadar 20% dan 22,5% metakaolin dengan umur 28 hari. (Hidayat, 2018)

Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas didapat dari grafik hubungan tegangan-regangan dari pengujian ketiga sampel pada masing-masing variasi. Grafik tegangan-regangan dengan komposisi metakaolin dapat dilihat pada Gambar 2.



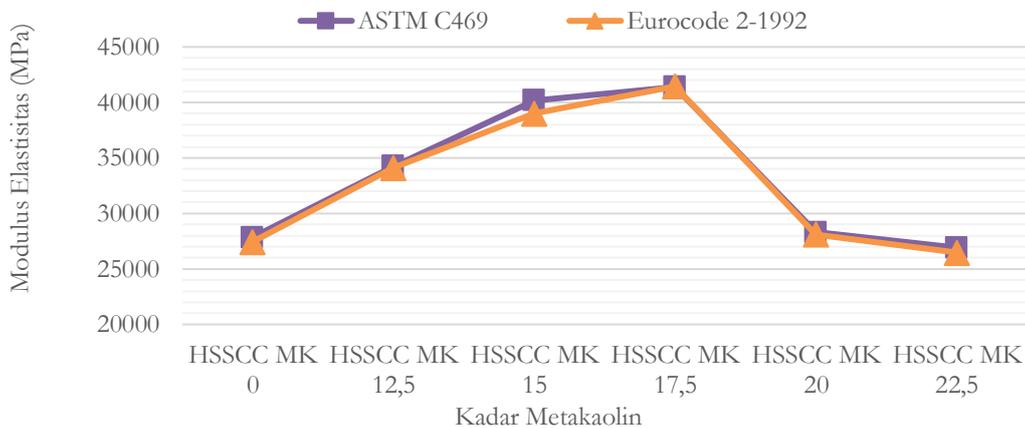
Gambar 2. Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Beton Variasi Metakaolin

Penghitungan modulus elastisitas dihitung menurut beberapa rumus empiris yang sudah diketahui. Hasil penghitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Penghitungan Modulus Elastisitas Beton HSSCC Metakaolin Eksperimen

Parameter (Modulus Elastisitas)	HSSCC MK 0	HSSCC MK 12,5	HSSCC MK 15	HSSCC MK 17,5	HSSCC MK 20	HSSCC MK 22,5
ASTM C469	27839,66	34268,41	40178,96	41388,21	28320,32	26918,89
Eurocode 2-1992	27458,58	34113,36	38998,69	41444,43	28113,34	26478,42

Nilai modulus elastisitas berdasarkan eksperimen dan kadar komposisi metakaolin dibuat grafik berdasar rumus empiris yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Modulus Elastisitas Berdasarkan Eksperimen

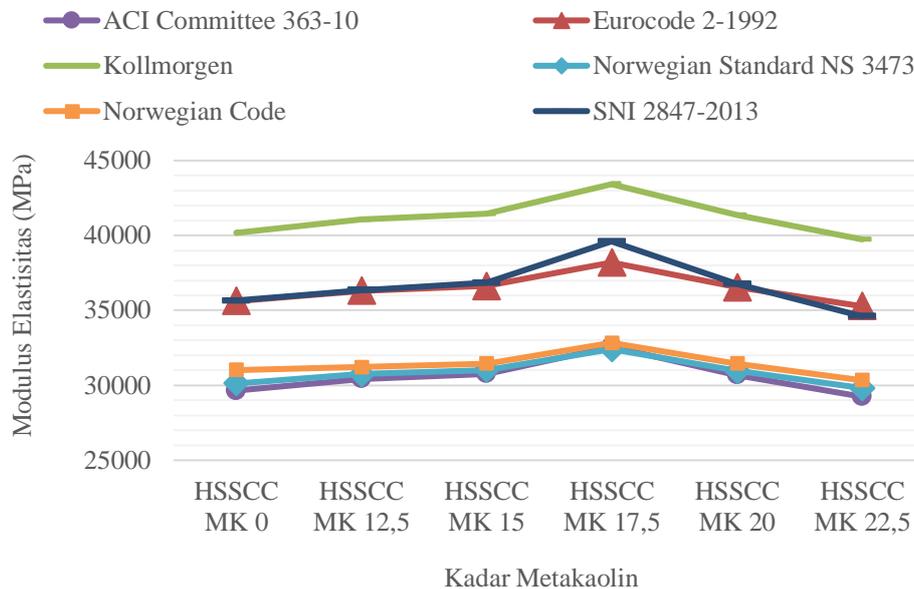
Modulus elastisitas hasil eksperimen akan dibandingkan dengan modulus elastisitas prediksi dengan menggunakan data kuat tekan dan berat volume yang dihasilkan oleh masing-masing benda uji. Penghitungan modulus elastisitas prediksi dihitung menurut beberapa rumus yang sudah diketahui. Hasil penghitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Penghitungan Modulus Elastisitas Beton HSSCC Metakaolin Prediksi

Parameter (Modulus Elastisitas)	HSSCC MK 0	HSSCC MK 12,5	HSSCC MK 15	HSSCC MK 17,5	HSSCC MK 20	HSSCC MK 22,5
ACI Committee 363-10	29630,26	30417,01	30768,03	32572,66	30680,76	29238,13
Eurocode 2-1992	35621,71	36315,06	36623,26	38196,10	36546,70	35274,83
Kollmorgen	40181,50	41061,87	41451,20	43420,93	41354,60	39738,59

Norwegian Standard NS 3473	30130,30	30751,76	31026,35	32413,30	30958,23	29817,34
Norwegian Code	31034,45	31220,34	31451,97	32836,52	31443,86	30332,97
SNI 2847-2013	35652,69	36357,75	36845,20	39605,18	36781,77	34605,11

Nilai modulus elastisitas prediksi dan kadar komposisi metakaolin dibuat grafik berdasar rumus yang telah diketahui dan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Modulus Elastisitas Berdasarkan Prediksi

Berdasarkan grafik perbandingan kuat tekan beton, modulus elastisitas eksperimen, dan penghitungan modulus elastisitas prediksi. Terlihat bahwa nilai kuat tekan dan modulus elastisitas mengalami kenaikan dan penurunan dengan pola yang sama. Hasil tertinggi pada kadar 17,5% metakaolin. Maka dari itu hasil modulus elastisitas prediksi sebanding dengan hasil modulus elastisitas eksperimen dan sebanding dengan hasil kuat tekan, dengan nilai modulus elastisitas tertinggi pada kadar 17,5% metakaolin.

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. Pada campuran beton mutu tinggi memadat mandiri pada penelitian ini, disimpulkan bahwa penambahan variasi metakaolin menurunkan workabilitas beton, namun beton yang dibuat pada penelitian ini masih tetap bisa mempertahankan sifat *Self Compacting Concrete* nya dengan variasi penambahan metakaolin yang diberikan. Beton pada penelitian ini memenuhi parameter *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance*.
2. Beton pada penelitian ini memenuhi standar High Strength Concrete, baik pada beton tanpa metakaolin maupun pada beton dengan variasi metakaolin. Penambahan kadar metakaolin meningkatkan kuat tekan beton. Dalam campuran ini, kuat tekan beton maksimum dicapai pada saat penambahan kadar metakaolin sebesar 17,5% dengan nilai kuat tekan 59,79 MPa dengan prosentase peningkatan dibandingkan beton tanpa metakaolin ialah sebesar 12,92 Mpa.
3. Penambahan kadar metakaolin meningkatkan modulus elastisitas beton bila dibandingkan dengan beton tanpa metakaolin. Dalam campuran ini, nilai modulus elastisitas tertinggi pada kadar 17,5% metakaolin. Hasil modulus elastisitas eksperimen sebanding dengan hasil modulus elastisitas prediksi dan sebanding dengan hasil kuat tekan serta dengan pola kenaikan dan penurunan yang sama.

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. Untuk mencapai tujuan penelitian yang diharapkan, penelitian selanjutnya disarankan membuat benda uji lebih dari yang diperlukan sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat dan untuk cadangan jika ada kerusakan benda uji.
2. Penelitian lebih lanjut pada umur beton yang lebih lama dari 28 hari, seperti 56 hari dan 90 hari untuk melihat hasil reaksi pozzolanik bekerja dengan optimal pada umur beton yang tinggi.

3. Pastikan pengerjaan pembuatan beton dilakukan dengan metode yang benar dan pengujian beton segar dilakukan sesegera mungkin agar didapatkan hasil yang maksimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih Allah SWT untuk segalanya. Terimakasih kepada seluruh guru dan dosen, keluarga, dan teman-teman yang selalu mendukung dan mendoakan.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. 2000. "SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang". Jakarta, Indonesia
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. "SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Beton Untuk Bangunan". Jakarta, Indonesia
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. "SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton". Jakarta, Indonesia
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. "SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung". Jakarta, Indonesia
- Dharmawan, A. D. 2017. "Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Metakaolin terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi". Jurnal Mateksi Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.
- Herbudiman, B., 2013. "Kajian Interval Rasio Air-Powder Beton Self-Compacting Terkait Kinerja Kekuatan dan Flow". Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Hidayat, C., 2018. "Kajian Pengaruh Variasi Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton Memadat Mandiri Mutu Tinggi". Jurnal Mateksi Vol 6 No 3 Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.
- Murdock, L. J., and Brook, K. M. 1991. "Concrete". Materials and Practice, Sixth Edition, Edward Arnold, London.
- Pamungkas, G. N. A., 2017. "Pengaruh Rasio Diameter / Tinggi Spesimen terhadap Hubungan Tegangan dan Regangan pada Beton High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete". Jurnal Mateksi Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Patil, B. B., and Kumbhar, P. D., 2012. "Strength and durability properties of high performance concrete incorporating high reactivity metakaolin". International Journal of Modern Engineering Research.
- The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. 2002. "EFNARC Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete". European
- The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete". European